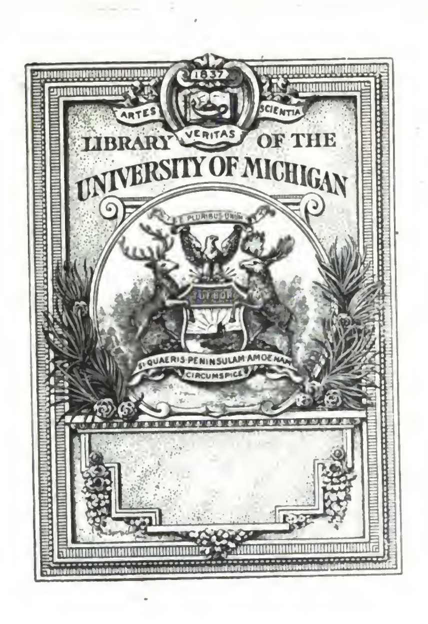
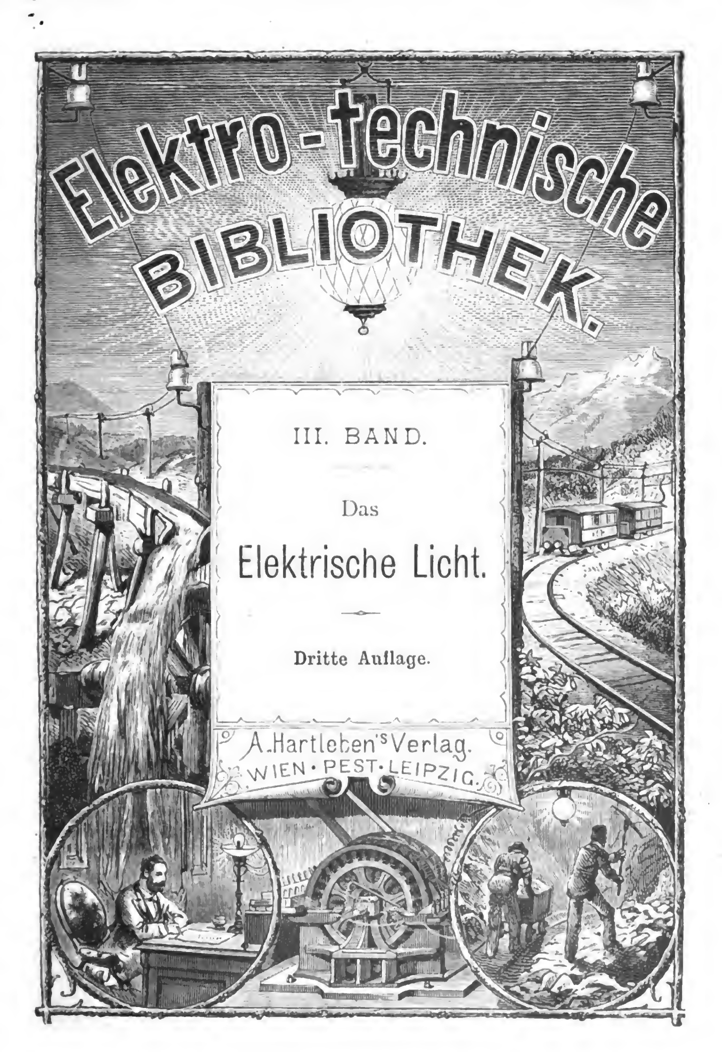


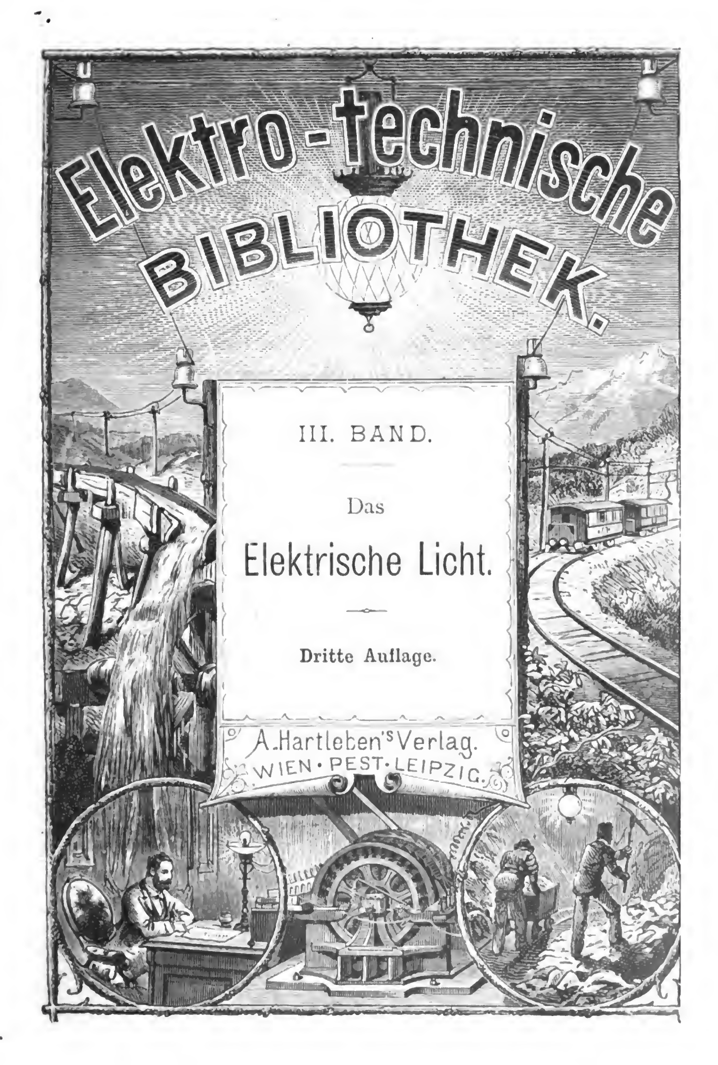

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE






Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
III. BAND.
Das
Elektrische Licht.
Dritte Auflage.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.




Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
III. BAND.
Das
Elektrische Licht.
Dritte Auflage.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

Das

ELEKTRISCHE LICHT

und die hierzu angewandten

Lampen, Kohlen und Beleuchtungskörper.

Dargestellt von

Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.

Mit 119 Abbildungen.

Dritte Auflage.



WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1890.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Vorwort zur dritten Auflage.

Obwohl die II. Auflage vorliegenden Werkes bereits nach jenen grossen elektrischen Ausstellungen erschien, welche man gewohnt ist, als den Beginn der praktischen Verwerthung von elektrischen Strömen grosser Stärke, wie solche auch speciell für elektrische Beleuchtung Anwendung finden, zu betrachten, so musste doch für die nunmehr erforderlich gewordene III. Auflage eine gründliche Umarbeitung vorgenommen werden. Diese Umarbeitung, bedingt durch den ausserordentlich raschen Fortschritt der Elektrotechnik, veranlasste sogar, die ursprüngliche Eintheilung des Buches theilweise fallen zu lassen und eine neue an deren Stelle zu setzen. Wenn letztere als eine Vereinfachung der ersteren erscheint, so glaube ich dies als ein erfreuliches Zeichen dafür auffassen zu dürfen, dass, Dank dem rastlosen Arbeiten sowohl der Theoretiker als auch der Praktiker, seither eine Klärung bezüglich vieler Punkte eingetreten ist, die vorher noch strittig waren. So sind namentlich in der Theorie des elektrischen Lichtes und zwar sowohl des Glühlichtes als auch des Bogenlichtes wesentliche Fortschritte gemacht worden. Ich habe diesem Umstande in der Weise Rechnung getragen, dass ich diesem Abschnitte nahe an 50 Seiten widmete gegenüber 13 Seiten in den ersten beiden Auflagen.

Die Erweiterung, welche unsere theoretischen Kenntnisse in letzter Zeit erfuhren, sind natürlich auch nicht ohne einen merkbaren Einfluss auf die Praxis

geblieben. Es tritt dies nicht nur bei den verschiedenen Constructionen der gegenwärtig am häufigsten in Anwendung stehenden Bogenlampen deutlich hervor, sondern ganz besonders bei der Fabrikation der Glühlampen. An Stelle der verschiedenartigsten Verfahren, die früher zur Herstellung der Glühlampen zur Anwendung gelangten, sind jetzt Fabrikationsweisen getreten, die sich, den neu gewonnenen theoretischen Erfahrungen entsprechend, immer einheitlicher gestalten. Während daher in den vorhergegangenen Auflagen nur kaum die Herstellung des Vacuums, als allen Glühlampen gemeinschaftlich, beschrieben werden konnte, alles Uebrige aber für jede einzelne Lampe speciell erläutert werden musste, konnte ich in der vorliegenden III. Auflage der Erzeugung der Glühlampen überhaupt einen eigenen Abschnitt widmen und so eine übersichtliche Darstellung dieser Fabrikation geben.

Die übrigen Veränderungen, welche ich vorgenommen habe, sind keine principiellen, sondern bestehen nur darin, dass ausgeschieden wurde, was sich bisher keine praktische Bedeutung zu erringen vermochte, wie z. B. die Mehrzahl der Halbglühlicht- oder Contactlampen, oder seine ursprüngliche Bedeutung mehr oder weniger verloren hat, wie die elektrischen Kerzen, hingegen Anderes neu aufgenommen wurde, was inzwischen entstand oder Bedeutung erlangte, wie z. B. verschiedene Constructionsarten und Montirungsweisen sowohl von Bogen- als auch von Glühlampen.

Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.

Inhalt.

Abkürzungen.

Kilometer = *km*
Meter = *m*
Centimeter = *cm*
Millimeter = *mm*
Quadrat = *q*
Kubik = *cb*
Liter = *l*
Kilogramm = *kg*
Gramm = *g*
Secunden-Meter-Kilogramm = *smk*
Volt = *V*
Ampère = *A*
Ohm = *O*
Watt = *W*
Pferdekraft = *HP*
Normalkerze = *NK*.

I.

Das elektrische Licht.

Elektrisches Licht entsteht jederzeit, auf welche Art immer es auch erzeugt werden möge, dadurch, dass elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird. Wärme ist bekanntlich eine Art der Bewegung kleinster Theilchen, welche ihrerseits wieder in jedem der drei Aggregatzustände mit einander verbunden sein können. Als für Beleuchtungszwecke praktisch verwerthbar hat sich nur das Glühen fester Theilchen erwiesen und von allen festen Körpern, die, ohne ihren Aggregatzustand zu ändern, zum Glühen und daher auch zum Leuchten gebracht werden können, ist es wieder nur eine äusserst beschränkte Anzahl, die thatsächlich im Gebrauche steht. Sieht man von einigen Beleuchtungsarten,*) die eine kaum nennenswerthe Anwendung finden, ab, so kann man sogar das Glühen von Kohlentheilchen als einzige Art der Lichterzeugung für praktische Zwecke bezeichnen. Ob wir die Flamme des Leuchtgases betrachten oder die Flamme einer Lampe

*) Z. B. das Magnesiumlicht, das Drumond'sche Kalklicht und das Auer'sche Gasglühlicht.

oder Kerze, die durch ein Oel, Fett, einen festen oder flüssigen Kohlenwasserstoff irgendwelcher Art, aus dem Pflanzen-, Thier- oder Mineralreiche stammend, gespeist wird, oder ob wir endlich das elektrische Licht in Betracht ziehen — immer sind es feste, hellglühende Kohlentheilchen, welche das Licht aussenden.

Die Thatsache, dass wir bei allen unseren Beleuchtungsarten, abgesehen von den bereits genannten, für die praktische Anwendung nicht in Betracht zu ziehenden Ausnahmen, wenigstens bis jetzt immer wieder die Kohlentheilchen als die eigentlichen Lichtträger finden, ist übrigens leicht erklärlich. Wie Draper (1847, New-York) nachgewiesen hat, sind alle Strahlen, welche feste oder flüssige Körper bei gewöhnlicher Temperatur bis hinauf zu 525° C.*) aussenden, für das Auge nicht wahrnehmbar; erst bei dieser Temperatur beginnen die Körper sichtbare und zwar zunächst dunkelrothe Strahlen auszusenden und erst bei steigender Temperatur gesellen sich dann nach und nach zu diesen die hellrothen, orangen, gelben, grünen, blauen und violetten Strahlen; diese alle zusammen bilden dann das weisse Licht. Zur Weissgluth gelangen die Körper, wenn sie eine Temperatur von 1200 bis 1300° C. überschreiten. Bei so hohen Temperaturen behalten aber die wenigsten Körper ihren gewöhnlichen Aggregatzustand bei; sie gehen vielmehr zumeist in den gasförmigen oder doch wenigstens in den flüssigen Zustand über. So schmelzen z. B. Kupfer bei 1050°, Gusseisen bei 1200° und Schmiedeeisen bei 1600° C.

*) Daniell gibt 526° C. an.

Dass aber weissglühende Flüssigkeiten zur Beleuchtung unverwendbar sind, bedarf wohl keiner näheren Begründung.

Nun lehrt ferner die Spectralanalyse, dass nur glühende feste oder flüssige Körper continuirliche Spectra zu erzeugen vermögen, d. h. dass nur diese, bis zur Weissgluth erhitzt, Strahlen jeder Brechbarkeit oder mit anderen Worten weisses Licht aussenden, während glühende Gase oder Dämpfe ein discontinuirliches Spectrum geben, d. h. nur Strahlen von bestimmter Brechbarkeit aussenden, während immer eine grössere oder geringere Menge von Strahlen anderer Brechbarkeiten fehlen; die Folge davon ist, dass das von den Gasen und Dämpfen ausgestrahlte Licht nicht weiss sein kann, sondern gefärbt erscheint. Dies und der Umstand, dass das Licht eine sehr geringe Intensität besitzt, schliessen daher auch glühende Gase oder Dämpfe von der Anwendung zu Beleuchtungszwecken aus. Somit bleiben uns also für diesen Zweck nur mehr jene festen Körper über, welche auch bei heller Weissgluth noch den festen Aggregatzustand bewahren. Unsere schwer schmelzbarsten Metalle, Platin und Iridium, schmelzen bei 1800—2200° C., Kohle hält Temperaturen von 2400 bis 3900° C., wie solche im Voltabogen gefunden wurden, aus, ohne zu schmelzen. Sehr schwer schmelzbar sind ferner Magnesia, Thonerde und einige andere sogenannte Erden. Dass aber von diesen Körpern die Kohle weitaus bevorzugt wird, ist ebenfalls leicht begreiflich. Bei den Lichtern gewöhnlicher Art (d. h. unelektrischen) ist es der Umstand, dass die Kohle nicht nur die weissglühenden festen Theilchen

liefert, sondern auch gleichzeitig das Material darstellt, durch dessen Verbrennung diese Theilchen eben ihre Weissgluth erlangen. Beim Drumond'schen Licht hingegen muss der Kalkkörper erst durch eine Knallgasflamme erhitzt werden, um zu leuchten, beim Auer-schen Lichte bringt die Bunsenflamme den Glühkörper zum Leuchten, bei dem Magnesiumlichte reicht die bei der Verbindung von Magnesium mit Sauerstoff auftretende Verbindungswärme nicht aus, um die Magnesiatheilchen in Weissgluth zu erhalten, es muss vielmehr irgend eine Flamme die fehlende Wärme zuführen. Beim elektrischen Lichte aber hat man die oben genannten schwer schmelzbaren Metalle ausgeschlossen, weil die hiermit angestellten Versuche sehr bald ergaben, dass deren Schmelztemperatur doch noch eine zu niedrige ist, als dass sie nicht durch irgendwelche Zufälligkeiten überschritten werden könnte, wodurch die Beleuchtung mit derartigen Lampen zu einer sehr unsicheren und auch kostspieligen würde. Vor den übrigen Materialien aber erhielt die Kohle den Vorzug, weil sie ein guter Leiter der Elektricität ist und wegen ihrer anderweitigen physikalischen Eigenschaften, wie dies aus nachstehenden Abschnitten leicht zu erkennen sein wird.

Das elektrische Licht gelangt in zwei Formen zur Anwendung, nämlich als Glühlicht und als Bogenlicht. Bei ersterem ist es ein Kohlenkörper von geringem Querschnitte, der durch den elektrischen Strom zum Glühen und Leuchten gebracht wird, beim Bogenlichte ist es der durch den elektrischen Strom zwischen zwei Kohlenstäben erzeugte Lichtbogen.

1. Das Glühlicht.

Schon kurze Zeit nach der Erfindung der Voltasäule (durch Volta im J. 1800) hatte man beobachtet, dass ein dünner Draht, in den Schliessungskreis einer galvanischen Batterie eingeschaltet, sich unter gewissen Verhältnissen lebhaft erwärmt, ja sogar zum Glühen und Schmelzen kommen kann. Davy zeigte bereits, dass unter sonst gleichen Umständen eine desto stärkere Erwärmung eintritt, je grösser jener Widerstand ist, welchen der betreffende Leiter dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegensetzt. Die ersten genaueren Untersuchungen dieser Verhältnisse rühren von Joule her und ergaben als Resultat das Gesetz, dass die in einer bestimmten Zeit entwickelte Wärmemenge dem Leitungswiderstande des Drahtes und dem Quadrate der Stromstärke proportional ist. Ist demnach die in der Längeneinheit des Stromkreises entwickelte Wärmemenge $= m$, der Gesammtwiderstand $= w$, die Stromstärke $= i$, so wird die in der Zeit t entwickelte Wärmemenge M ausgedrückt durch die Gleichung

$$M = m\,w\,i^2\,t.$$

Vorausgesetzt, dass der elektrische Strom im gegebenen Schliessungskreise keine andere Arbeit (wie etwa elektrolytische Zersetzung) zu leisten hat, wird die gesammte Elektricität in Wärme umgewandelt. Die hierbei in der Zeiteinheit geleistete Arbeit, die erzeugte Wärmemenge $\frac{M}{m\,t}$, die fernerhin der Kürze wegen mit W bezeichnet werden soll, gibt die Gleichung

$$W = i^2\,w. \qquad (1)$$

Das Gesetz von Ohm, welches die Beziehungen zwischen elektromotorischer Kraft, Widerstand und Stromstärke ausdrückt, lautet: Die Stromstärke (i) ist direct proportional der elektromotorischen Kraft (e) und umgekehrt proportional dem Widerstande (w) des Stromkreises. Der Widerstand (w) des Stromkreises ist direct proportional seiner Länge (l) und dem specifischen Leitungswiderstande (s) seines Stoffes und umgekehrt proportional seinem Querschnitte (q).

Man hat daher

$$i = \frac{e}{w} \tag{2}$$

und

$$w = \frac{l\,s}{q} \tag{3}$$

Setzen wir den durch das Ohm'sche Gesetz erhaltenen Werth für i in die Gleichung (1) ein, so entsteht die Gleichung

$$W = \frac{e^3}{w^2} \cdot w \text{ oder } W = \frac{e^2}{w} \tag{4}$$

Gleichung (2) besagt, dass die Intensität eines galvanischen Stromes an allen Stellen seiner Leitung gleich ist; Gleichung (1) lehrt aber, dass die durch den Strom producirte Wärmemenge bei gleichbleibender Intensität des Stromes nur vom Widerstande des Leiters abhängt und mit diesem zu- oder abnimmt, dass also bei verschiedenen Widerständen an den einzelnen Stellen des Leiters die grösste Wärmeentwicklung dort erfolgt, wo der grösste Widerstand vorhanden ist, und Gleichung (4), dass bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft,

also derselben constanten Elektricitätsquelle, die entwickelte Wärmemenge sich umgekehrt zu dem Gesammtwiderstande des Schliessungskreises verhält.

Diese Gleichungen (1, 2, 3 und 4) geben die Grundregeln zur Erzeugung des elektrischen Lichtes. Hierbei handelt es sich nämlich darum, dass der von einer Elektricitätsquelle gelieferte Strom möglichst vollständig und nur an bestimmten Punkten (in den Lampen) in Wärme umgesetzt wird. Um diesen Zweck zu erreichen, hat man daher Folgendes zu thun:

1. Den Gesammtwiderstand des Stromkreises, also die Summe der Widerstände im Elektricitätserzeuger, in der Leitung und in den Lampen nach der Gleichung $W = \frac{e^2}{w}$ möglichst gering zu machen, weil dann der Werth W (die entwickelte Wärmemenge) am grössten wird.*)

2. Die Widerstände der einzelnen Theile des Stromkreises bei ungeändertem Gesammtwiderstande so zu vertheilen, dass der grösste Widerstand nur an bestimmten Stellen (in den Lampen) vorhanden ist, in den übrigen Theilen des Stromkreises aber derselbe möglichst gering ausfällt, da man die Wärmeerzeugung eben nur an jenen Stellen verwerthen kann, und nach der Gleichung $W = i^2 w$ die erzeugte Wärmemenge unter sonst gleichen Umständen dort am grössten wird, wo der grösste Widerstand vorhanden ist.

*) Hierbei ist natürlich die elektromotorische Kraft e als unveränderlich vorausgesetzt, d. h. eine gegebene constante Elektricitätsquelle angenommen. Diese Annahme wird gemacht, da an dieser Stelle auf die Elektricitätserzeuger nicht eingegangen werden soll.

3. Um an der gewünschten Stelle einen möglichst grossen Widerstand zu erzielen, muss für dieses Stück des Stromkreises ein Material gewählt werden, welches bei grossem specifischen Leitungswiderstande einen möglichst geringen Querschnitt besitzt, da die Gleichung $w = \frac{l\,s}{q}$ lehrt, dass dann auch der Widerstand w am grössten wird; die Länge l kann aus praktischen Gründen nicht sehr gross gemacht werden.

4. Die Wärmeabgabe jener Stelle (Lampe), an welcher das Licht erzeugt werden soll, an die Umgebung ist möglichst zu verhindern, da die Temperatur eines Körpers nicht nur von der zugeführten Wärmemenge abhängt, sondern auch davon, wie viel Wärme derselbe in einer bestimmten Zeit an seine Umgebung abgibt.

Die allgemeinen theoretischen Bedingungen, welche erfüllt werden müssen, damit im Kohlenbügel die Umsetzung der elektrischen Energie in Licht zweckmässig erfolgt, sind nun im Vorstehenden wohl angedeutet, doch genügt dies keineswegs für die praktische Beurtheilung.

So ist es für die praktische Erzeugung von Kohlenbügeln natürlich von hohem Interesse, zunächst zu erfahren, in welchem Verhältnisse der Arbeitsverbrauch zur Helligkeit der Lampen steht, da ja hierdurch die Kosten des Lichtes wesentlich beeinflusst werden. Derartige Untersuchungen wurden daher auch von verschiedenen Seiten durchgeführt und ergaben verschiedene Formeln, durch welche die genannten Beziehungen mehr oder minder zutreffend dargestellt werden. So

hat Cl. Hess*) nachgewiesen, dass die von H. F. Weber aufgestellte Formel für die Helligkeit

$$H = \alpha\, A^3 + \beta\, A,$$

worin mit A die Arbeit und mit α und β Coëfficienten bezeichnet werden, den thatsächlichen Verhältnissen sehr gut entspricht, denn die nach der Formel berechneten Helligkeiten ergaben bei zahlreichen Versuchen eine sehr gute Uebereinstimmung mit den auf photometrischem Wege erhaltenen. Sonach kann also die Helligkeit einer elektrischen Glühlampe als Summe zweier Grössen dargestellt werden, von denen die eine dem Cubus, die andere der ersten Potenz der von der Lampe verzehrten Arbeit proportional ist.

Nicht minder wichtig als die Beziehung der Helligkeit zum Arbeitsverbrauch ist aber auch das Verhältniss der ersteren zur Stromintensität. Zwar haben wir das Verhältniss zwischen Stromstärke und erzeugter Wärme schon oben (S. 5) durch das Joule'sche Gesetz dargestellt, doch lässt dieses noch nicht so klar die Abhängigkeit der Leuchtkraft von der Stromstärke erkennen, als dies durch eine andere Darstellung bewirkt werden kann. Eine solche andere Beziehung der Helligkeit einer Glühlampe zu der entsprechenden Stromstärke hat Slotte**) gefunden und folgendermaassen ausgedrückt: Die Helligkeit ist proportional der vierten Potenz der Zunahme der Stromintensität von dem Werthe, bei welchem die Lichtausstrahlung beginnt.

Vom Standpunkte der Theorie aus würde die Umwandlung von elektrischer Energie in Licht um so

*) Centralbl. f. Elektrotechnik, VIII (1886), S. 651.

**) Centralbl. f. Elektrotechnik, X (1888), S. 621.

rationeller erfolgen, zu je höherer Temperatur der Kohlenfaden erhitzt wird, je weniger Volt-Ampère zur Erzeugung einer bestimmten Lichtmenge erfordert werden.

Die Steigerung der Temperatur übt auf die Leuchtkraft eine zweifache Wirkung aus: sie vermehrt die Strahlen und steigert gleichzeitig die Intensität jedes Strahles. Man erhält daher für einen bestimmten Kraftaufwand, z. B. eine Pferdekraft, desto mehr Licht, je höher dieTemperatur des Kohlenfadens steigt. So gibt Siemens an, dass bei einer bestimmten, schwachen Rothgluth durch bestimmte Kohlenbügel nur 10 Normalkerzen erhalten werden können, während ebensolche Kohlenbügel in heller Weissgluth für denselben Kraftaufwand 300 Normalkerzen geben.

Bei jedem leuchtenden Körper hat man die Aussendung leuchtender und nichtleuchtender Strahlen zu unterscheiden. Für uns haben natürlich nur die ersteren einen Werth; die Umwandlung von Elektricität in letztere ist ein Energieverlust. Es ist sowohl von theoretischem Interesse, als auch von praktischem Werthe, das Verhältniss zwischen leuchtenden und nichtleuchtenden Strahlen einer Lichtquelle zu kennen. Letzteres ist dadurch ermöglicht, dass die Physik ein Mittel an die Hand gibt, beiderlei Strahlen voneinander zu trennen. Dies besteht in der Anwendung einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, welche die Eigenschaft hat, die leuchtenden Strahlen einer Lichtquelle zu absorbiren oder zu verschlucken, während die nicht leuchtenden Strahlen ungehindert durchgehen. Versuche, welche Tyndall in dieser Weise mit verschiedenen Lichtquellen

anstellte, ergaben als Antheil der leuchtenden Strahlen an der Gesammtstrahlung einer Oelflamme 3 Procent, einer Gasflamme 4 Procent, einer weissglühenden Platinspirale 4·6 Procent und des Voltabogens 10 bis 11 Procent. Hieraus ersehen wir, dass selbst bei unserer intensivsten künstlichen Lichtquelle der Verlust an Arbeit, welche vom Strome geleistet wird, 90 Procent beträgt, indem diese zur Erzeugung dunkler Wärmestrahlen verwendet werden, die für Beleuchtungszwecke gänzlich nutzlos sind. Der Arbeitsverlust bei den Glühlampen steht zwischen dem der Platinspirale und jenem des Voltabogens und nähert sich dem letzteren um so mehr, je näher die Temperatur des Kohlenbügels jener des Voltabogens kommt. Natürlich kann diese Annäherung nicht sehr weit getrieben werden, da die gegenwärtig in Verwendung stehenden Kohlenbügel eine so hohe Temperatur nicht auszuhalten imstande sind.

Doch ist es nicht die Temperatur allein, welche auf den Lichteffect Einfluss ausübt, sondern dieser wird auch durch das Emissions- oder Ausstrahlungsvermögen des glühenden Körpers bestimmt. Die Gesammtausstrahlung verschiedener Körper gleicher Temperatur ist nicht dieselbe; dies lehrt ein einfacher Versuch: man erhitzt in demselben Feuer ein Stück Glas und ein Stück Eisen; zieht man dann beide heraus, so wird das Glas kaum leuchten, während das Eisen helle Gluth zeigt. Ob auch das Verhältniss zwischen leuchtenden und nichtleuchtenden Strahlen bei verschiedenen Körpern gleicher Temperatur ein verschiedenes ist, bedarf noch genauerer Untersuchungen; doch ist dies mit

einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen. Jedenfalls übt aber die Beschaffenheit der Kohle und ihrer Oberfläche auf das Güteverhältniss einer Glühlampe einen Einfluss aus.

Besitzen zwei Kohlen denselben Querschnitt und dieselbe Länge, ist aber der Querschnitt der einen Kohle ein Rechteck, jener der anderen Kohle ein Kreis, so hat offenbar die erstere Kohle die grössere Oberfläche. Unter der Voraussetzung gleicher Temperatur müsste also die Strahlung der eckigen Kohle grösser sein als jene der runden, da unter diesen Umständen die Ausstrahlung der Oberfläche proportional ist. Soll nun die Ausstrahlung für beide Kohlen die gleiche werden, so muss man die runde Kohle verlängern. Dann haben beide Kohlen denselben Querschnitt, deshalb auch dieselbe Haltbarkeit und auch die gleiche Leuchtkraft. Bei der runden Kohle ist jedoch der Widerstand ein höherer geworden, weil die Länge zugenommen hat, und dies führt zu einer Erhöhung der Stromspannung. Da dies aber, wie wir früher gesehen haben, vortheilhaft ist, so verdient die Kohle mit rundem Querschnitte den Vorzug vor der Kohle mit rechteckigem Querschnitte. Es ist dies übrigens ein Vorzug, der ebensogut mit einer Kohle von höherem specifischen Widerstande erreicht wird.

Es wurde bisher keine Rücksicht auf die Umgebung des Kohlenbügels genommen. Wie aber bereits oben (S. 8) angegeben, hängt die Temperatur eines Körpers nicht nur von der zugeführten, beziehungsweise in diesem erzeugten Wärme ab, sondern auch davon, wie viel Wärme derselbe in einer bestimmten Zeit an seine Umgebung abgibt.

Es ist daher zweckmässiger, die den Glühkörper umschliessenden Glasgefässe auszupumpen, als mit Kohlenwasserstoffen zu füllen, indem letztere die Wärme viel besser leiten, als ein mit möglichst verdünnten Gasen erfüllter Raum (ein sogenanntes Vacuum). Wenn eine elektrische Glühlampe vollkommen ausgepumpt ist, so wird die Arbeit, welche sie im leuchtenden Zustande verbraucht, einzig zur Unterhaltung der Strahlung aufgewandt. Enthält aber die Lampe noch Luft oder ein anderes Gas, so wird Energie durch Wärmeleitung und Wärmeströmung von dem glühenden Drahte weggeführt. Eine bestimmte Arbeitsmenge wird daher in einer unvollständig entleerten Lampe eine geringere Lichtmenge entwickeln, als in einer ganz leeren. Eine diesbezügliche experimentelle Untersuchung, welche von Cl. Hess*) mit zwei Swan-Lampen (zu 16 *NK*) durchgeführt wurde, ergab nachstehende Resultate.

Bei den untersuchten Lampen fiel die Leuchtkraft bei unverändertem Arbeitsverbrauch um so grösser aus, je mehr der Gasinhalt verdünnt wurde, und zwar scheint es sich herauszustellen, dass die Helligkeit für unveränderte Arbeit sich asymptotisch zwei Grenzwerthen nähert, von denen der eine bei vollkommener Leere, der andere bei hohem Gasgehalte der Lampe erreicht wird. Ebenso scheint sich zu ergeben, dass eine elektrische Glühlampe für einen bestimmten Arbeitsverbrauch nur dann eine günstige Lichtentwicklung besitzt, wenn die Spannkraft des Gasinhaltes 0·2 *mm* (Quecksilbersäule) nicht übersteigt. Es ist wohl mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass diese

*) Centralbl. f. Elektrotechnik, VIII (1886), S. 675.

streng genommen allerdings nur für zwei Swan-Lampen gefundenen Resultate doch auch für andere Glühlampen gelten werden.

Ein möglichst vollständiges Auspumpen der Glühlampen dürfte sich aber auch noch in anderer Hinsicht sehr empfehlen. Es ist längst bekannt, dass die Elektroden aus Platin oder auch aus anderen Metallen Gase in grösserer oder geringerer Menge absorbiren, die sie auch dann nicht abgeben, wenn man die Luft aus den die Elektroden umschliessenden Gefässen auspumpt. Ferner haben bereits Gassiot,*) Plücker,**) Hittorf,***) Spottiswoode und Moulton†) beobachtet, dass von der negativen Elektrode Theilchen abgerissen werden, die, wenn die elektrische Entladung hinreichend lang gewirkt hat, als Metallspiegel auf den die negative Elektrode umschliessenden Glaswänden sichtbar werden. Wright††) erhielt auf diese Weise auf Glas metallische Niederschläge von fast allen edeln und unedeln Metallen und stellte durch dieses Verfahren auch Hohlspiegel mit Metallbelegung dar. Auch Crookes,†††) Wächter*) und E. Wiedemann**) machten diesbezügliche Versuche und Beobachtungen. Dieses Verhalten der Elektroden macht sich aber im

---

*) Phil. Trans. 1858 pt. I. S. 1.

**) Pogg. Ann. CIII. 1858. S. 90.

***) Wied. Ann. XXI. 1884. S. 126.

†) Phil. Trans. II. 1880. S. 582.

††) Beibl. zu Wied. Ann. I. p. 203, 690.

†††) Beibl. zu Wied. Ann. V. S. 511.

*) Ber. der Wiener Akad. LXXXV. (1882) S. 560.

**) Wied. Ann. XX. 1883. S. 795.

erhöhten Maasse geltend, wenn die Elektroden aus Kohle bestehen. Diese verschluckt im kalten Zustande eine noch viel grössere Menge (das 1600fache ihres Volumens) von Gasen wie die Metalle und lässt jene erst dann los, wenn sie zum Glühen erhitzt wird. Berliner*) glaubt nun beobachtet zu haben, dass das Beschlagen der Glasgefässe der Glühlampen, welche längere Zeit in Gebrauch gestanden, mit Kohle mehr oder weniger durch die Menge der von dem Kohlenbügel verschluckten Gase bestimmt wird, dass also diese Gase nothwendig sind, um die Kohlenbeschläge hervorzurufen. Diese Gase sollen es sein, welche durch die Erhitzung der Kohle aus dieser ausgetrieben werden und hierdurch auf rein mechanischem Wege Kohlentheilchen losreissen und an die Glaswände schleudern. Wird dann die Lampe ausgelöscht, so kühlt sich der Kohlenbügel ab und verschluckt die Gase neuerdings, um sie bei wieder darauf folgendem Gebrauche abermals auszustossen. In dieser Weise wird die Durchsichtigkeit des Lampenglases bei längerem Gebrauche der Lampe durch den fortschreitenden Kohlenbeschlag erheblich beeinträchtigt und dadurch sowohl die Leuchtkraft herabgedrückt, als auch die Zerstörung des Kohlenbügels gefördert. Ist diese Ansicht Berliner's richtig, so kann diesem Uebelstande einfach dadurch abgeholfen werden, dass man die Glühlampen möglichst sorgfältig auspumpt und zwar schliesslich auch noch bei gleichzeitig zum Glühen gebrachtem Kohlenbügel.

Zur praktischen Lösung der Aufgabe, elektrische Energie in Glühlicht umzusetzen, genügt es jedoch

*) La lumière électrique, XXXVIII (1888), S. 541.

nicht, nur die Bedingungen klarzustellen, welche für diese Umsetzung überhaupt maassgebend sind, es müssen vielmehr auch noch andere, nicht minder wichtige Umstände gleichfalls in Rechnung gezogen werden; solche Umstände sind die Lebensdauer des Kohlenbügels und die Anlage der Stromleitungen.

Es ist daher vom praktischen Standpunkte aus durchaus nicht jener Kohlenbügel der beste, welcher bei möglichst geringem Kraftaufwande die grösste Lichtstärke gibt, weil dies auf Kosten der Lampendauer geht. Dietrich*) bezeichnet vielmehr als den besten Glühkörper jenen, bei welchem die gesammten Jahresbetriebskosten für die Normalkerze den geringsten Betrag ausmachen und zieht dann sowohl den Fall in Betracht, dass es sich um Herstellung einer neuen Lampe von ganz bestimmter Lichtstärke handle, deren günstigster Glühgrad zu ermitteln sei, als auch den zweiten Fall, nämlich wie viele Volt-Ampère in einer gegebenen Lampe für die Normalkerze zu verbrauchen sind und mit welcher Lichtstärke demgemäss die Lampe am besten glüht. Th. Marcher**) stellte für die Güte einer Glühlampe den Ausdruck auf

$$G = \frac{Oe \times D \times W}{P},$$

d. h. er setzt die Güte direct proportional dem Producte aus der Oekonomie, der Dauer und dem Widerstande der Lampe und umgekehrt proportional dem

*) Elektrotechn. Zeitschr., V (1884), S. 343.

**) Internat. elektrotechn. Zeitschrift und Ber. über die elektr. Ausstellung in Wien 1883, S. 300; Centralbl. für Elektrotechnik, VII (1885), S. 309.

Preise. Von den übrigen zahlreichen hierher gehörigen Arbeiten*) soll zunächst auf jene von W. Siemens**) näher eingegangen werden.

Die im Kohlenfaden verbrauchte Arbeit wird durch das Product $e.i$ (elektromot. Kraft mal Intensität des Stromes) gemessen. Vom Standpunkte der Theorie aus erscheint es daher vollkommen gleichgiltig, ob die elektromotorische Kraft oder ob die Stromstärke geändert wird, wenn hierbei nur das Product $e.i$ unverändert bleibt. Es müsste sonach gleichgiltig sein, ob man sich Ströme hoher Spannung und geringer Stromstärke oder niederer Spannung und grosser Stromstärke zur Umwandlung der elektrischen Energie in Licht bedienen würde. Da aber, wie bereits erwähnt, auch noch andere Umstände in Betracht kommen, ist dies nicht der Fall.

Soll stets gleiche Lichtstärke erhalten werden, so hat man bei Anwendung hochgespannter Ströme von geringer Stromstärke Kohlenbügel zu verwenden, die verhältnissmässig lang sind, aber einen kleinen Querschnitt besitzen. Hingegen müssen Kohlen, die mit Strömen geringer Spannung, aber grosser Intensität betrieben werden sollen, kurz sein, aber einen verhältnissmässig grossen Querschnitt erhalten. Natürlich ist

*) Z. B. Ayrton et Perry: La lumière électrique, XVII. (1885), p. 60 (aus: Philosophical Magazine V. Ser. April 1885, p. 304). Foussat: The Electrician, XIV, p. 226. Götz: Centralbl. für Elektrotechnik, V (1883), S. 720. Pierre: Zeitschr. für Elektrotechnik, I (1883), S. 131, 171. Schumann: Elektrotechn. Zeitschr., V (1884), S. 220. Wright: The Electrician, XIV, p. 311.

**) Elektrotechn. Zeitschr., IV (1883), S. 107.

hierbei für den Kohlenbügel gleiches Material vorausgesetzt. Die Grenze, wie weit man mit der Steigerung der Spannung gehen kann, ist für die Beleuchtung mit Glühlicht durch die Haltbarkeit des Kohlenbügels gegeben. Je höher nämlich die Spannung wird, desto grösser muss die Länge und desto kleiner der Querschnitt des Kohlenbügels werden. Es ist klar, dass ein zu weites Verringern des Durchmessers oder Erhöhen der Länge auch die Gebrechlichkeit des Bügels erhöhen muss. Die Grenze für die praktisch zulässige Stromstärke bestimmt nicht nur der Kohlenbügel, sondern hier wirkt auch die Anlage der Leitung ein.

Ein Kohlenbügel, der mit Strömen grosser Intensität, aber geringer Spannung arbeiten soll, muss kurz und dick sein, weil ja der Widerstand ein geringer sein soll. Der Kohlenbügel gewinnt hierdurch allerdings an Festigkeit, soweit er mechanischen Einwirkungen ausgesetzt ist. Er erhält dadurch aber auch eine verhältnissmässig grosse Masse. Um diese zum Glühen zu bringen, muss aber ein grosser Theil der Energie in Wärme umgewandelt werden, die nicht nur für die Lichterzeugung verloren geht, sondern auch die Zerstörung der Kohle befördert. Die Anwendung geringer Spannungen und hoher Stromstärken führt aber, wie wir gleich sehen werden, auch noch andere Nachtheile mit sich.

Die Stärke der Leitungen muss aus Rücksicht auf die Feuersicherheit so gewählt werden, dass die Erhitzung derselben eine gewisse Grösse nicht überschreitet; anderseits kann sie aber wegen des Materialpreises nicht so gross genommen werden, dass der

Energieverlust durch die Leitung ganz vermieden wird. Man schlägt daher einen Mittelweg ein und gestattet einen bestimmten Energieverlust. Vergleichen wir nun, unter Voraussetzung gleichen Energieverlustes durch die Leitung, zwei gleiche Beleuchtungsanlagen, deren eine mit schwachen Strömen hoher Spannung und deren andere mit starken Strömen geringer Spannung betrieben wird. Für das Product $e.i$, welches constant sein soll, kann man auch setzen

$$i^2 w,$$

weil ja

$$e = w i.$$

Soll aber dieses Product für die Leitungen dasselbe bleiben auch für Kohlenbügel, die verschiedene Stromstärken erfordern, so muss sich der Widerstand der Leitung mit dem Quadrate der Stromstärke ändern, also bei 2, 3, 4mal grösserer Stromstärke 4, 9, 16mal geringer werden. Es müssen daher die Leitungen einen 4, 9, 16mal grösseren Querschnitt erhalten. Man kann daher sagen, dass der Querschnitt und somit auch das Gewicht der Leitung mit dem Quadrate der Stärke des Betriebsstromes wachsen muss.

Mit Rücksicht auf die Anlage der Leitungen erscheint es also vortheilhafter, Kohlenbügel mit hohem Widerstande herzustellen als solche mit geringem, weil bei den ersteren Ströme hoher Spannung und von geringer Intensität zum Umsatze der elektrischen Energie in Licht zur Verwendung gelangen. Die Erhöhung des Widerstandes im Kohlenbügel und somit auch die Steigerung der Spannung des Betriebsstromes kann jedoch nicht beliebig weit getrieben werden, denn gleich-

zeitig hiermit nimmt die Lebensdauer des Kohlenbügels ab. Ayrton und Perry*) versuchten nun mit Rücksicht auf diese einander entgegenwirkenden Umstände in nachstehender Weise festzusetzen, bei welcher Spannung der Preis der durch Glühlicht erzeugten Lichteinheit am geringsten wird.

Bezeichnet man mit $f(v)$ die Lebensdauer eines Kohlenbügels (in Stunden) als Function der Spannung ausgedrückt; ferner mit $\theta(v)$ die Function der Spannung, nach welcher die Anzahl der Normalkerzen einer gegebenen Lampe von der Lampenspannung abhängt. Der Kaufpreis einer Lampe betrage p Schilling, und n sei die Anzahl Stunden, welche die Lampe im Jahre brennt. Dann kostet eine Normalkerze, erzeugt durch Glühlicht, insoweit der Preis von der Lebensdauer der Lampe abhängt, für 1 Jahr:

$$A = \frac{p \times n}{f(v) \times \theta(v)}.$$

Ferner sei H der Preis in Schilling, welchen die Leistung einer elektrischen Pferdekraft in n Stunden in 1 Jahr kostet, und $\varphi(v)$ die Anzahl Volt-Ampère, welche für 1 Normalkerze Glühlicht erforderlich ist, ebenfalls dargestellt als Function der Spannung. Die zur Hervorbringung einer Normalkerze Glühlicht erforderliche elektrische Energie kostet dann für 1 Jahr:

$$B = \frac{H}{746} \times \varphi(v).$$

Die jährlichen Gesammtkosten für 1 Normalkerze Helligkeit sind hiernach:

*) A. a. O. und auch in: Elektrotechn. Zeitschr. VI (1885), S. 209.

$$C = \frac{p \times n}{f(v) \times \theta(v)} + \frac{H}{746} \cdot \varphi(v).$$

Die Lösung der Aufgabe, für welchen Werth der Spannung v wird C ein Minimum, kann dann sowohl auf graphischem Wege gefunden werden, indem man C als Ordinate für verschiedene Werthe von v aufträgt und dann in der Figur sucht, für welchen Werth von v C ein Minimum wird, als auch auf mathematischem Wege durch Ermittlung von C als Function von v und Bestimmung des Werthes von v, für welchen:

$$\frac{d\,C}{d\,v} = o$$

wird. Beide Wege führen natürlich zu übereinstimmenden Resultaten.

Ayrton und Perry fanden, dass C ein Minimum wird, für:

$$v = 110{\cdot}66 + 6{\cdot}574 \, . \, log \frac{H}{p \, . \, n}.$$

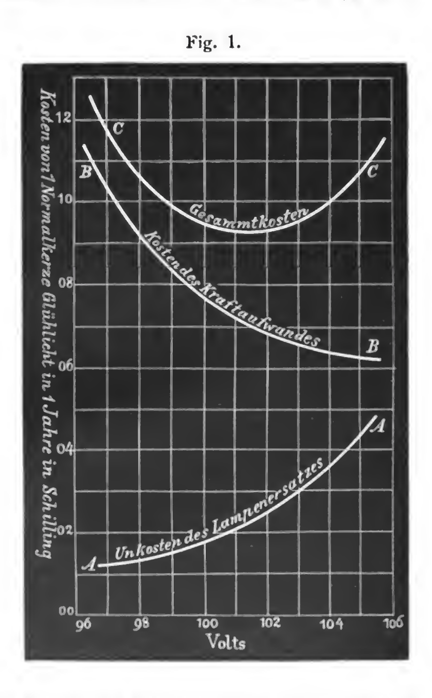
Nimmt man ferner an den Anschaffungspreis (p) einer Lampe mit 5 Schilling, die Anzahl (n) der Brennstunden im Jahre mit 560 Stunden und die Erzeugungskosten (H) einer elektrischen Pferdekraft während 560 Stunden im Jahre mit 5 Pfd. Sterl., so ergibt die Berechnung als wirthschaftlich günstigste Spannung für die 100-Volt-Edison-A-Lampe:

$$v = 101{\cdot}46 \text{ Volt.}$$

Die graphische Lösung gibt, wie aus Fig. 1 zu ersehen, das nämliche Resultat. Man ersieht hieraus, dass das Minimum der Curve für die Gesammtkosten C bei 101·5 V eintritt und die Kosten ungefähr 9 Pence betragen.

Es ergibt sich also hieraus, dass für den vorliegenden Fall am wirthschaftlichsten gearbeitet wird, wenn man die Kohlen um beiläufig $1^1/_2$ % über ihre

Fig. 1.



normale Spannung beansprucht, so dass dieselben eine mittlere Lebensdauer von ungefähr 700 Stunden besitzen. Wie weit diese für die Edison-*A*-Lampe zu 100 *V* gefundenen Formeln auch für die Kohlenbügel anderer

Lampen Geltung haben, ist erst durch weitere Versuche festzustellen.

2. Der Voltabogen.

Der Voltabogen wurde von Sir Humphry Davy entdeckt und zwar, wie es Silvanus Thompson's*) Forschungen wahrscheinlich erscheinen lassen, im Jahre 1810. Davy entdeckte den Bogen mit Hilfe jener Batterie von 2000 Elementen, welche ihm durch die Freigebigkeit seiner Zuhörer in der »Royal Institution« zur Durchführung seiner so berühmt gewordenen elektrochemischen Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurde. Er erhielt zwischen Stäbchen aus Holzkohle einen Bogen von 10 *cm* Länge, der sich bei Erzeugung desselben im luftverdünnten Raume auf 18 *cm* verlängern liess.

Eine Reihe von Forschern beschäftigte sich von da an mit der Untersuchung des Voltabogens, wobei sich ergab, dass bei Vermehrung der Elemente der Lichtbogen schneller wächst als die Zahl der Elemente, dass dieser Zuwachs stärker ist für kleine Lichter als für grosse, dass der Lichtbogen länger ist, wenn sich der positive Pol oben befindet, als wenn er den unteren Platz einnimmt, und dass seine Länge sich ändert mit dem ihn umgebenden Medium.

Nach einer von Villari in den »Comptes-Rendus de l'Academie dei Lyncaei« (1889)**) veröffentlichten Arbeit beträgt die Länge des Voltabogens, wenn man jene in Wasserstoff gleich 3·9 setzt, in Stickstoff 7·4

*) La lumière électrique, T. XI (1884), S. 162.

**) La lumière électrique, T. XXXV (1890), S. 348.

und in der Luft 8·5, wobei vorausgesetzt ist, dass man den Lichtbogen zwischen horizontal angeordneten Kohlen erzeugt. Die Bogenlänge wird bedeutend grösser, wenn man den Lichtbogen in gewöhnlicher Weise, d. h. vertical erhält und zwar um so grösser, wenn man den positiven Pol oberhalb des negativen anordnet, also gewissermaassen einen absteigenden elektrischen Strom hat, als bei umgekehrter Anordnung. Villari erhielt bei aufsteigendem elektrischen Strome in Stickstoff einen Lichtbogen von 7fach grösserer Länge als in Wasserstoff; bedeutend grösser wurde jedoch diese Differenz bei absteigendem Strome; sie erhob sich zu 25mal 7.

Als Ursache dieser Unterschiede bezeichnet Villari die durch die Annode entwickelte Wärme. Es mag jedoch hierzu bemerkt werden, dass auf diese Verhältnisse jedenfalls auch der Erdmagnetismus Einfluss nehmen muss.

Dass der Lichtbogen durch den Magnet, ebenso wie andere leicht bewegliche Stromleiter, abgelenkt wird, ist schon von Davy*) beobachtet worden und neuerdings wurde die Aufmerksamkeit auf diese magnetische Ablenkung »Das elektrische Löthrohr« (Fig. 2) in erhöhtem Maasse gelenkt, als man sich ernstlich bemüht, ein elektrisches Schweissverfahren in die Praxis einzuführen.

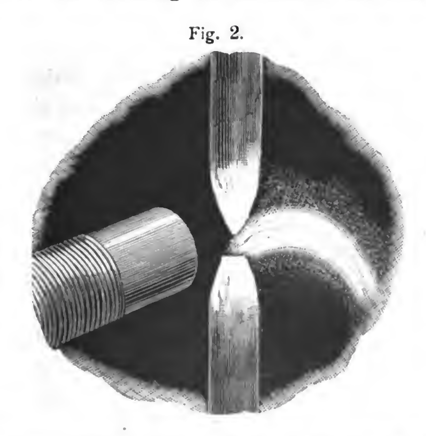
Die Ablenkung des Lichtbogens durch den Erdmagnetismus wurde von Casselmann**) eingehend

*) Phil. Trans., Vol. II (1821), p. 427; Gilbert, Ann. Bd. LXXI, S. 241.

**) Pogg. Ann., Bd. LXIII (1844), S. 588.

studirt, der hierbei, um die Einwirkung eines aufsteigenden Luftstromes zu vermeiden, die Kohlen horizontal gegeneinander stellte. Die Richtung der Ablenkung für den Lichtbogen, wenn dieser in verschiedenen Richtungen in der Horizontalebene erzeugt wird, erhält man, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Erdmagnetismus wie ein in der Richtung der Inclinationsnadel liegender

Fig. 2.



und seinen Südpol nach Norden kehrender Magnet wirkt und nun die Stromtheile des Lichtbogens den ihn selbst darstellenden Ampère'schen Strömen parallel zu stellen sucht.

Soll der Strom das Hinderniss überwinden können, welches ihm der Luftzwischenraum zwischen den beiden Kohlenspitzen darbietet, so darf die Spannung des Stromes nie unter eine gewisse Grenze sinken; man kann daher den Voltabogen auch nicht mit einem ein-

zigen, wenn auch noch so grossplattigen Elemente hervorrufen, da die Intensität des Stromes bei grossem äusseren Widerstande im Schliessungsbogen nur durch Vermehrung der Elemente gesteigert werden kann. Denn man hat nach dem Ohm'schen Gesetze für ein Element die Stromintensität

$$i = \frac{e}{w + w^1} \qquad (1)$$

wenn e die elektromotorische Kraft, w^1 den Widerstand im Voltabogen und w den gesammten übrigen Widerstand im Schliessungskreise bezeichnet. Für eine Anzahl von n Elementen erhält man

$$i^1 = \frac{n\,e}{n\,w + w^1}.$$

Da der Widerstand w im Verhältnisse zu w^1 sehr klein ist, so kann man auch schreiben

$$i = \frac{e}{w^1} \text{ und } i^1 = \frac{n\,e}{w^1},$$

woraus sich

$$i^1 = n\,i$$

ergibt.

Wird aber an Stelle eines Elementes ein anderes mit n-fach grösseren Platten gesetzt, so erhält man die Gleichung

$$i^1 = \frac{e}{\frac{w}{n} + w^1} = \frac{n\,e}{w + n\,w^1}$$

und da w gegen w^1 sehr klein ist

$$i^1 = \frac{n\,e}{n\,w^1} = \frac{e}{w^1}.$$

Gleichung (1) geht aus demselben Grunde über in

$$i = \frac{e}{w^1} \text{ also } i = i^1,$$

woraus ersichtlich, dass die Intensität durch Vergrösserung der Platten des Elementes nicht vergrössert werden kann. Die Anwendung dieser Betrachtungen auf die Erzeugung des Voltabogens durch Ströme von elektrischen Maschinen erfordert nur, dass man unter n nicht die Anzahl der Elemente, sondern die Zahl der Drahtwindungen des Ankers, welche in einer bestimmten Zeit ein magnetisches Feld passiren, versteht. Die Intensität des Stromes einer Maschine bei grossem äusseren Widerstande kann also entweder durch Vermehrung der Drahtwindungen im Anker oder durch schnellere Rotation derselben gesteigert werden, nicht aber durch Verstärkung der Magnete.

Ebenso wie sich bereits bei den von de la Rive*) ausgeführten Versuchen eine Erwärmung der Elektroden als günstig für die Bildung des Voltabogens erwies, ergab sich aus den Versuchen von Tommasi**) und aus jenen von Gross und Shepard***) der ungünstige Einfluss der Abkühlung. Dass sich mit Stromstärken von weniger als 3—4 A kein für Beleuchtungszwecke brauchbarer Lichtbogen herstellen und erhalten lässt, hat man hauptsächlich wohl der Ableitung der Wärme durch die Elektroden zuzuschreiben. Man hat daher, und namentlich bei Anwendung schwacher Ströme, die Elektroden gegen Wärmeverluste möglichst zu schützen.

---

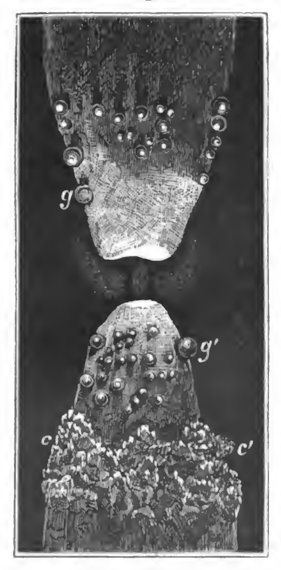
*) G. Wiedemann: Die Lehre v. d. Elektricität (1885), IV. 2. Abth., S. 836.

**) Compt. rend. 1881, p. 716.

***) Electrical Review 1886 (24. Sept., 1. Oct.).

Feussner*) schlägt zu diesem Behufe die Anwendung eines Glascylinders vor (besser dürfte sich ein Cylinder aus Glimmer eignen), welcher den ganzen Lichtbogen umgibt und sowohl oben als auch unten gegen Luftzug möglichst abgeschlossen ist.

Fig. 3.

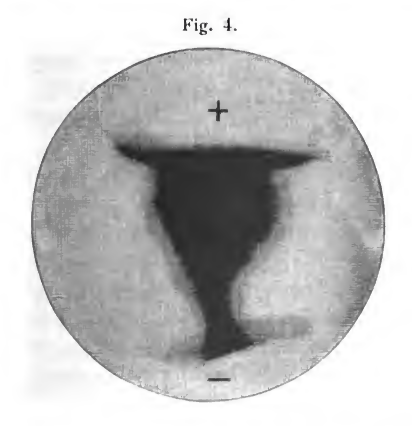


Erzeugt man mit Hilfe einer Sammellinse ein Bild des Lichtbogens (Fig. 3), so sieht man, dass die beiden Kohlen kurze Zeit nach Entstehen des Bogens, wenn zu seiner Erzeugung gleichgerichtete Ströme angewendet werden, ein von einander verschiedenes Aussehen gewinnen. Die positive Kohlenelektrode höhlt sich kraterförmig aus und bildet eine kleine Sonne, welche an 65 Procent der ganzen Lichtmenge nach Richtungen ausstrahlt, die der Wölbung des Kraters entsprechen. Die negative Elektrode bleibt nahezu spitz und sendet daher ihre Lichtstrahlen nach allen Richtungen. Auf beiden Kohlen erscheinen glänzende Kügelchen *g*, die von den mineralischen Verunreinigungen der Kohlen herrühren; sie fehlen, wenn die Kohlen rein sind.

*) Centralblatt f. Elektrotechnik, X (1888), S. 9.

In Fig. 4 ist ein negatives Bild des Bogens dargestellt, wie ein solches durch ein von F. Uppenborn *) erdachtes photographisches Verfahren erhalten wurde. Fasst man die Gestalt des Lichtbogens ins Auge, so zeigt sich, dass dieselbe in erster Annäherung mit einem abgestumpften Kegel verglichen werden kann, nicht aber mit einem Cylinder, wie dies häufig ge-

Fig. 4.



schehen. Genau genommen ist die Gestalt des Lichtbogens der einer Birne ähnlich, von der man rechtwinkelig auf ihre Hauptaxe an Stiel und Blüthe etwas weggeschnitten hat. Der Krater der positiven Kohle ist intensiv schwarz und der Lichtbogen sitzt, wie man sieht, an der positiven Kohle mit einer breiten Basis auf. Dies deutet offenbar auf einen hohen Uebergangs-

*) Centralblatt f. Elektrotechnik, X (1888), S. 104.

widerstand hin, worauf weiter unten noch näher eingegangen werden soll.

Wird der Bogen in freier Luft erzeugt, so vermindern sich die Kohlen sehr rasch und zwar die positive Kohle ungefähr doppelt so schnell als die negative. Im Vacuum hingegen höhlt sich nur die negative Kohle aus und nimmt an Volumen ab, während sich die positive Spitze verlängert.

Wendet man zur Erzeugung des Voltabogens Wechselströme an, so brennen beide Kohlen gleichmässig ab und bleiben mehr oder weniger spitz, weshalb auch beide Kohlen gleiche Lichtmengen ausstrahlen.

Wichtig für die Praxis ist die Richtung der Lichtstrahlen; während bei der Anwendung vertical übereinander angeordneter Kohlen und gleichgerichteter Ströme der grösste Theil des Lichtes von der positiven Kohle ausgeht und wegen deren Kraterbildung nach einer begrenzten Anzahl von Richtungen gesandt wird, strahlt der Bogen bei derselben Anordnung der Kohlen, aber unter Anwendung von Wechselströmen, das Licht nach allen Richtungen gleichmässig aus. Bestimmte Richtungen für die Ausstrahlung der Hauptmasse des Lichtes werden auch bei der Anwendung elektrischer Kerzen erzielt. (Nähere Angaben über diese Verhältnisse finden sich im Bande XI der elektrotechnischen Bibliothek, welcher die praktische Ausführung elektrischer Beleuchtungsanlagen behandelt.)

Die Lichtstärke des Voltabogens wurde von Foucault und Fizeau gemessen und hierbei gefunden, dass wenn man die Lichtintensität der Sonne als Einheit

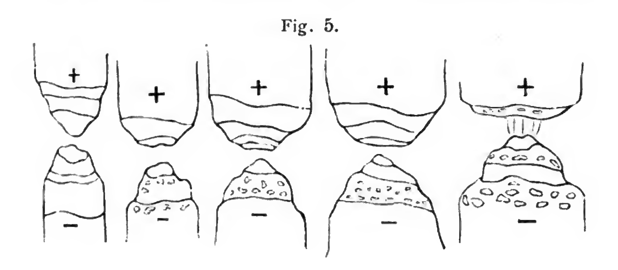
annimmt, jene des elektrischen Lichtes = 0·5, des Drummond'schen Kalklichtes = 0·0066 und des Mondlichtes = 0·000003 der Intensität des Sonnenlichtes beträgt. Die Lichtstärke ist unter sonst gleichen Bedingungen abhängig von der Länge des Bogens und vergrössert sich, wenn letzterer von 1 auf 5 *mm* verlängert wird, von 547 auf 1140 *NK*, während bei der als praktisch ermittelten Länge des Bogens von 3 *mm* dessen Intensität 874 *NK* Leuchtkraft besitzt.

In neuerer Zeit wurde die Abhängigkeit der Lichtemission von der Bogenlänge, beziehungsweise von der Spannung durch F. Vogel*) näher untersucht. In Bezug auf die Oberflächenbildung der beiden Kohlen, welche für die gesammte Lichtstrahlung von Wichtigkeit ist, ergab sich hierbei, dass die untere negative Kohle immer flacher wird, zu je höheren Spannungen man übergeht. Die positive Kohle wird desto spitzer, je höher die Stromstärke im Vergleiche zum Kohlenquerschnitte steigt. Es ist daher bei den Lichtmessungen mit verschiedenen Stromstärken auch auf die Kohlenquerschnitte Rücksicht zu nehmen. Die Lichtemission wird ferner bei höheren Spannungen nicht nur, entsprechend der aufgewandten Mehrarbeit, grösser, sondern die Strahlung erstreckt sich dann auch immer mehr nach unten hin. Es ist daher nicht richtig, ein Strahlungsmaximum unter beiläufig 45 Grad, wie dies früher häufig geschah, anzunehmen. Die obere positive Kohle strahlt vielmehr die von ihrer Kraterfläche ausgehende Lichtmenge hauptsächlich nach unten aus. Ein Theil der-

*) Centralbl. f. Elektrotechnik, IX (1887), S. 189.

selben und gerade jener von grösster Intensität wird durch die untere Kohle abgeblendet. Man muss daher, um Bogenlicht möglichst vortheilhaft zu erzeugen, möglichst grosse Bogenweiten nehmen. Die Schattenbildung der unteren Kohle durch Verringerung ihres Querschnittes zu vermindern, geht nur bis zu einer gewissen Grenze, da man hierbei auf die Stromstärke Rücksicht nehmen muss, wie Zacharias*) bemerkt hat und überdies auch das Verhältniss 1:2 der Kohlenquerschnitte

Fig. 5.



wohl beibehalten werden muss, wenn ein constanter Lichtpunkt gewünscht wird.

Die Lichtemission hängt jedoch nicht nur von der Spannung ab, sondern auch noch von anderen Verhältnissen, nämlich von der Stromstärke, dem Kohlenquerschnitte, dem Kohlenmateriale und von äusseren Einflüssen. Um die Bogenlichtbeleuchtung möglichst ökonomisch zu gestalten, muss daher auch hierauf entsprechend Rücksicht genommen werden. Die Beziehungen, welche zwischen der Lichtausstrahlung und dem Kohlen-

*) Centralbl. f. Elektrotechnik, VIII (1886), S. 676.

querschnitte bestehen, hat M. Schreihage*) durch eine eingehende Untersuchung klargestellt.

Vergleicht man die Kohlenbilder (Fig. 5), welche für verschieden starke Kohlen erhalten wurden, so fällt sofort auf, dass die durch Querlinien abgegrenzten Glühzonen bei den dünnen Kohlen hoch hinaufgehen, während sie bei wachsendem Kohlenquerschnitte immer flacher und flacher werden. Die einzelnen Theilchen der dünneren Kohlen gelangen zu einer höheren Weissgluth, als die der stärkeren Kohlen und daher glühen die dünneren Kohlen nicht nur an ihren gegeneinander gekehrten Enden, sondern auch noch auf eine bestimmte Entfernung von denselben, oder selbst in ihrer ganzen Länge. Bei starken Kohlen hingegen umfasst der Bogen der glühenden Gase nicht mehr die ganze Kohlenspitze, sondern bedeckt nur einen Theil der Vorderfläche, wie dies aus der Figur zu ersehen ist. Bezeichnend ist es, dass, bei gleichbleibender Stromstärke und Spannung, mit zunehmendem Kohlenquerschnitte die oberen positiven Kohlen immer flacher brennen. Wird daher für einen bestimmten Strom zu starke Kohle benützt, so glüht nur mehr der der Spitze der negativen Kohle gegenüberliegende Kern; es engt sich der Strom gewissermassen in der Mitte ein und bringt daher den äusseren Rand der Kohlen gar nicht mehr zum Glühen. Die Folge davon ist, dass man dann gar keine oder doch nur eine sehr schwache, wagrechte Lichtausstrahlung erhält, weil ein »Ineinanderhineinbrennen« der Kohlen stattfindet.

*) Centralbl. f. Elektrotechnik. X (1888), S. 591.

Nimmt man aus den Lichtstärken, gemessen in der unterhalb der Wagrechten gelegenen Halbkugel, das Mittel und vergleicht die so erhaltenen Mittel mit den betreffenden Kohlenquerschnitten, so ergibt sich hierfür nach Schreihage das Gesetz: Zwei derartige mittlere Lichtausstrahlungen verhalten sich umgekehrt zu einander wie die Wurzeln aus den dazu gehörigen Kohlenquerschnitten, d. h. diese mittleren Lichtausstrahlungen unter der Wagrechten verhalten sich zu einander umgekehrt wie die Kohlendurchmesser, also

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{d_2}{d_1},$$

oder die Producte, gebildet aus den Lichtstärken und den dazu gehörigen Kohlendurchmessern, sind bei der selben Stromstärke unveränderlich, also

$$L_1 \, d_1 = L_2 \, d_2.$$

Bezüglich der Zusammensetzung des Bogenlichtes sind noch keine eingehenden Untersuchungen durchgeführt worden. Despretz *) fand, als er den Spalt eines Spectralapparates gegen die weissglühenden Kohlenspitzen richtete, keine besondere Eigenthümlichkeit, sondern erhielt ein ununterbrochenes Spectrum, wie solches durch jeden festen, glühenden Körper erzeugt wird. Während jedoch die Grenze desselben in Roth mit jener des Sonnenspectrums zusammenfällt, dehnt es sich in Blau und Violett weit darüber hinaus. Wird der Spalt des Spectralapparates auf den Lichtbogen zwischen den beiden Kohlen gerichtet, so erscheinen im Spectrum helle Linien. Nach A. J. Angström **)

*) Compt. rend. XXXIII, S. 1851.

**) Recherches sur le Spectre solaire, Upsala 1868.

gibt der elektrische Lichtbogen, der sich zwischen Kohlenpolen bildet, wenn man eine Batterie von 50 Elementen benützt, nicht das eigentliche Kohlenstoffspectrum, sondern die Spectra von Kohlenwasserstoffen und von Cyan. Hieraus scheint hervorzugehen, dass die Temperatur des Bogens nicht genügend ist, den Kohlenstoff in den Gaszustand zu überführen.*)

Stellt man den Lichtbogen in reinem Wasser Alkohol oder Terpentinöl her, so erhält man nach Masson**) im Spectrum keine Streifen; zugleich vertheilt sich aber auch keine von den Kohlenspitzen abgerissene Materie in der Flüssigkeit, die Kohlen bewahren ihre Gestalt und der Bogen ist sehr beständig.

Bedient man sich an Stelle der Kohlen, Spitzen aus Metallen, so erscheinen in den Spectris die Spectrallinien der betreffenden Metalle.

Vermöge der grossen Menge der blauen und violetten Strahlen sendet der Lichtbogen eine grosse Menge chemischer Strahlen aus und eignet sich daher sehr gut zur Beleuchtung von Gegenständen zum Zwecke des Photographirens.

Mit der Entwicklung eines so kräftigen Lichtes wie das des Voltabogens ist aber auch die Erzeugung einer sehr hohen Temperatur verbunden. Matteucci hatte bereits (1850) gefunden, dass die Temperatur der positiven Elektrode jene der negativen Elektrode um so mehr überwiegt, je schlechter die Elektroden leiten; E. Becquerel bestimmte später (1863) die Temperatur

*) Roscoe (Schorlemmer): Die Spectralanalyse, 1870, S. 179.
**) Ann. de Chim. et de Phys. XXXI, p. 324.

des Lichtbogens bei Anwendung von 80 Bunsen-Elementen zu höchstens 2100° C.*)

Ausführliche Versuche wurden dann von Rosetti**) angestellt. Er hat bei Anwendung einer Bunsen-Batterie von 160 Elementen und einer Duboscq'schen Lampe die Temperatur zwischen beiden Kohlenspitzen zu 2500 bis 3900° C. gefunden. Hierbei hatte die positive Kohle 2400 bis 3900° und die negative 2138 bis 2530°. Der mit 8 bis 10 Bunsen-Elementen in einer Lampe von Reynier erzeugte Bogen erreichte an der positiven Kohle eine Temperatur von 2406 bis 2734° C.

Die hohe Temperatur des Lichtbogens ermöglicht es, schwer schmelzbare Körper in demselben zu schmelzen und zu verflüchtigen. Children***) hat auf diese Weise bereits im Jahre 1815 Wolframsäure, Molybdänsäure und Ceroxyd verflüchtigt, Uranoxyd, Titansäure und Iridium geschmolzen. Despretz†) sah bei einem im luftleeren Raume von 500 bis 600 Bunsen-Elementen erzeugten Bogen die Kohlenspitzen verdampfen, in derselben Weise, wie wenn Joddampf aus erhitztem Jod sich entwickelt. Auch beobachtete er an den Wänden des Glasgefässes das Niederschlagen eines schwarzen krystallinischen Pulvers.

*) G. Wiedemann: Die Lehre v. d. Elektricität. 1885. IV, 2. Abth., S. 837.

**) Ebendaselbst S. 838. (Atti del Ist. Veneto [5] V, 1879.) Rosetti: Ueber die Temperatur der Sonne, Nuovo Lincaei 1878.

***) Phil. Trans. 1815, II, p. 369 (auch Gilbert's Ann. LII., S. 363).

†) Compt. rend. XXVIII, p. 755; XXIX, p. 48, 545, 709.

Dewar *) versuchte die gesammte Wärmeausstrahlung des Lichtbogens zu bestimmen, indem er eine Siemens'sche Lampe mit einem Blech-Doppelcylinder ganz umschloss und dann die Erwärmung des in diesen hineingebrachten Wassers bestimmte. In einem bestimmten Falle wurden auf diese Weise in einer Minute 34.000 Calorien erzeugt.

Wenn als einer der Vorzüge des elektrischen Lichtes vor den übrigen Beleuchtungsarten auch der angegeben wird, dass die übermässige Erhitzung der Räume vermieden erscheint, so steht dies keineswegs mit den oben gemachten Zahlenangaben im Widerspruche, denn die wärmeausstrahlende Fläche des elektrischen Lichtes ist im Verhältnisse zu der anderer Lichter so klein, dass die Gesammtwärmemenge der ersteren hinter der der letzteren weit zurückbleibt. Siemens fand, dass ein elektrisches Licht von 4000 Kerzen Helligkeit 142·5 Wärmeeinheiten in der Minute erzeugt. Will man dieselbe Lichtmenge durch Gasflammen erhalten, so bedarf man 200 Argandbrenner, welche 15.000 Wärmeeinheiten erzeugen. Das elektrische Licht bringt also ungefähr nur 1% der Wärme hervor, welche eine gleich helle Gasbeleuchtung ergeben würde.

In Bezug auf die Temperaturerhöhung, welche die Luft in geschlossenen Räumen durch verschiedene Beleuchtungsarten erfährt, hat Sennett **) folgende Angaben gemacht. Ein Raum von 50 Quadratfuss Bodenfläche und 20 Fuss Höhe wird während 10 Stunden durch verschiedene Lichtquellen, jedoch immer mit

*) Proc. Roy. Soc. XXX (1880), p. 85.

**) La lumière électrique, XIV (1884), p. 503.

einer Gesammthelligkeit von 4000 Kerzen beleuchtet und dabei Sorge getragen, dass keinerlei Wärmeverluste erfolgen können. Man wird dann am Ende der 10 Stunden die Temperatur des Raumes gestiegen finden für Beleuchtung

mit	Bogenlicht	um	$0{\cdot}706^0$ C.
»	Glühlicht	»	$7{\cdot}0^0$
»	Gas	»	$78{\cdot}4^0$
»	Kerzen	»	$190{\cdot}0^0$

Hat die Luft in diesem Raume zu Beginn der Beleuchtung eine Temperatur von 16^0 C. gehabt, so wird die Temperatur nach Ablauf der 10 Stunden bei Beleuchtung

mit	Bogenlicht	auf	$16{\cdot}7^0$ C.
»	Glühlicht	»	23
»	Gas	»	98·4
»	Kerzen	»	$206{\cdot}0^0$ C.

gestiegen sein.

Die hohe Temperatur des Voltabogens veranlasst natürlich auch chemische Vorgänge, die sich sowohl mit der Natur der Elektroden als auch mit jener ihrer Umgebung ändern müssen; umgekehrt wirken diese Umstände auch wieder auf den Lichtbogen zurück.

In dem gegebenen Falle werden im Bogenlichte 1750 *g* Kohle verbrannt und liefern 6413 *g* oder 42 *l* Kohlendioxyd (sogenannte Kohlensäure). Ferner entstehen auch Stickstofftetroxyd (sogenannte Untersalpetersäure) und Sauerstoffverbindungen des Schwefels (Schwefeldioxyd und vielleicht auch Schwefelsäure), wenn die Kohlen Schwefel enthalten. Die Mengen dieser Verbindungen sind sehr wechselnde und hängen

von verschiedenen Umständen ab, wie z. B. davon, ob die Kohlen frei oder eingeschlossen in einer Glocke brennen; es werden grössere Mengen erzeugt, wenn die Kohlen wagrecht einander gegenüberstehen, als wenn sie sich senkrecht übereinander befinden.

Um in dem oben erwähnten Raume das Verderben der Luft durch die Erzeugung von Kohlendioxyd hintanzuhalten, wäre es nach Sennet nothwendig, für die verschiedenen Beleuchtungsarten die nachstehend angegebene Anzahl von Luftwechsel zu bewirken:

	Kohlendioxyd (Verhältnisszahlen)	Zahl der Luftwechsel
Für Bogenlicht	1	3·25
» Gas (Nr. 1)	133	500
» » (Nr. 2)	53	200
» Steinöl	80	300
» Kerzen (Nr. 1)	220	830
» » (Nr. 2)	178	670

Dass die Luftfeuchtigkeit einen Einfluss auf die elektrolytischen Erzeugnisse des Lichtbogens hat, wurde bereits von J. Dewar*) nachgewiesen. Nach ihm wird in feuchter Luft Cyanwasserstoff in erheblicher Menge erzeugt, während sich nur wenig Acetylen bildet. Nach F. Vogel**) findet bei der hohen elektromotorischen Kraft im Lichtbogen eine elektrolytische Zerlegung des Wasserdampfes statt, dessen Bestandtheile sich erst ausserhalb des eigentlichen Bogens wieder vereinigen. Da bei der chemischen Verbindung von Wasserstoff mit Sauerstoff wenig Licht erzeugt wird, so geht der

*) Proc. of the Roy. Soc. XXX. (1880), p. 85.

**) Centralblatt für Elektrotechnik. IX. (1887), S. 218.

grösste Theil der zur Zerlegung des Wasserdampfes aufgewandten Arbeit für die Beleuchtungszwecke verloren. Wie viel elektrische Arbeit hierbei verbraucht wird, lässt sich vorläufig nicht berechnen, da die Vorgänge im Lichtbogen zu mannigfach und fast noch völlig unbekannt sind.

In Uebereinstimmung mit der Annahme, dass im Lichtbogen selbst keine Verbrennung des Wasserstoffes stattfindet, ist die Thatsache, dass nicht einfach Kohlendioxyd und Wasser die Verbrennungsproducte der Kohlen sind, sondern dass sich Acetylen und andere Kohlenwasserstoffe bilden. Vogel schreibt dem verschiedenen Gehalte der Luft an Wasserdampf die Nichtübereinstimmung der von verschiedenen Beobachtern an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten gefundenen Werthe für die Lichtstärken zu. Ob dies wirklich der Fall ist, und in welchem Grade der Lichtbogen beeinflusst wird, können aber allerdings erst weitere Untersuchungen entscheiden.

Es ist wohl selbstverständlich, dass auch das Material der Kohlenstäbe auf das Verhalten des Lichtbogens Einfluss übt. Näheres hierüber ist in dem Abschnitte über die Erzeugung der Lampenkohlen angegeben. Hier soll nur bemerkt werden, dass das Zischen des Voltabogens der Ungleichförmigkeit der Kohlen zugeschrieben wird.*) Lecher**) glaubt jedoch in einer Arbeit, in welcher er die Abhängigkeit der Potentialdifferenz von der Temperatur der Elektroden

*) G. Wiedemann: Die Lehre von der Elektricität. 1885, IV., 2. Abth., S. 845; Compt. rend. XCIV. (1882), p. 462.

**) Centralblatt für Elektrotechnik. X. (1888), S. 52.

nachweist, das Zischen in folgender Weise erklären zu sollen: wird der Strom zu stark, so geht die Entladung, wenn eine Stelle zu warm geworden, fortwährend sprungweise an anderen kälteren Stellen über, durch welches Hin- und Herspringen ein Ton entsteht und zugleich durch Inanspruchnahme der kälteren Partien die Potentialdifferenz fällt.

Im Lichtbogen treten ausser den bereits besprochenen auch noch mechanische Erscheinungen ein. Bestehen die beiden Elektroden aus Kohle, so werden die Kohlentheilchen abgerissen und vorwiegend in der Richtung von der positiven zur negativen Elektrode fortgeschleudert, so dass sich also der Voltabogen der Hauptsache nach als ein Strom glühender Kohlentheilchen darstellt, die zumeist in der Richtung von der positiven zur negativen Elektrode gehen. Diese zuerst von Silliman*) beobachtete Erscheinung wurde später durch Experimente mehrfach bewiesen. So hat V. v. Lang,**) um eines derselben hier zu erwähnen, gelegentlich einer Untersuchung über die elektromotorische Kraft des Lichtbogens folgende Beobachtung gemacht. Bestand der positive Pol aus Kohle, der negative aus Platin, so lagerten sich bei nahem Stande der Elektroden von der Kohle Theilchen auf dem Platin in einem Kegel ab, der mit seiner Spitze der positiven Kohle entgegenwuchs und fast ganz in die Aushöhlung der Kohle hineinpasste. Entfernte man die Elektroden

*) G. Wiedemann: Die Lehre von der Elektricität. 1885, IV., 2. Abth., S. 841.

**) Centralblatt für Elektrotechnik. IX. (1887), S. 567.

weiter von einander, so brannte die an der negativen Elektrode abgelagerte Kohle ab.

Dass auch von der negativen Elektrode, wenngleich in verhältnissmässig unbedeutender Menge, Theilchen abgerissen und fortgeschleudert werden, hat Breda*) sowohl durch Anwendung zweier verschiedener Metalle sichtbar gemacht, als auch durch Wägungen bewiesen.

Dewar**) machte es durch eine Reihe von Versuchen wahrscheinlich, dass im Innern der Gashülle des Lichtbogens ein etwa um 2 *mm* höherer (Wasser-) Druck herrscht als ausserhalb. Dewar hat bei einem zwischen Kohlenstäben erzeugten, regelmässig brennenden Lichtbogen für den positiven Pol eine Druckzunahme von 1 bis 2 *mm* Wassersäule erhalten, während das Manometer am negativen Pole eher eine kleine Verminderung des Druckes erkennen liess. Fängt der Bogen zu zischen an, so nimmt der Druck am positiven Pole ab und kann sogar negativ werden. Gehen Ausströmungen vom positiven zum negativen Pole über, so zeigt das Manometer am letztern eine Druckzunahme. Der Druck ist überhaupt desto grösser, je kürzer die Lichtbogen sind.

So zahlreich auch die bereits durchgeführten Arbeiten in Bezug auf das elektrische Verhalten des Lichtbogens geworden sind, so ist bis jetzt doch noch keine Klärung der diesbezüglichen Verhältnisse erreicht worden. Nachstehend wird daher nur Einiges hierüber

*) Poggend. Ann., Bd. LXX.

**) Chem. News. XLV. (1882), p. 37.

mitgetheilt und im Uebrigen muss auf die betreffenden Arbeiten selbst verwiesen werden.*)

Wird im Schliessungskreise einer Elektricitätsquelle ein Voltabogen hergestellt, so tritt eine auffallend starke Stromschwächung ein, auf welche die Länge des Lichtbogens keinen besonderen Einfluss ausübt. Edlund, welcher diese auffallende Erscheinung zuerst einer eingehenden Untersuchung unterzog, fand dabei, dass der Widerstand des Lichtbogens allerdings mit der Länge desselben zunehme, jedoch keineswegs im selben Verhältnisse wie die Bogenlänge, sondern entsprechend einer Gleichung von der Form

$$w = a + bl,$$

wobei a und b Constante darstellen und l die Länge des Bogens bedeutet. Diese Formel lehrt, dass durch

---

*) Arens: Wied. Ann. XXX., S. 95. Ayrton und Perry: La lumière électrique. T. IX., p. 90. Dewar: Proc. of the Roy. Soc. XXX. (1880), p. 85. Dub: Centralblatt für Elektrotechnik. X. (1888), S. 749. Edlund: Pogg. Ann., Bd. CXXXI (1876), S. 536; Bd. CXXXIII (1868), S. 353; Bd. CXXXIV (1868), S. 250, 337; Bd. CXXXIX (1870), S. 353: Bd. CXL (1870), S. 552. Feussner: Centralblatt für Elektrotechnik. X, S. 8. Frölich: Elektrotechn. Zeitschr., IV. (1883), S. 150. V. v. Lang: Sitzungsber. der Wiener Akad. der Wiss., Bd. XCI (2), 1885, S. 844; XCV (2), 1887, S. 84. Lecher: Centralblatt für Elektrotechnik. X, S. 47. Lucas: La lumière électrique. XII. (1884), p. 274. Luggin: Centralblatt für Elektrotechnik. X, S. 567. Nebel: Centralblatt für Elektrotechnik. VIII. (1886), S. 517, 619. Peukert: Zeitschrift für Elektrotechnik. III. (1885), S. 111. Uppenborn: Centralblatt für Elektrotechnik. VIII. (1886), S. 173; IX. (1887), S. 633; X. (1888), S. 102. Vogel: Centralblatt für Elektrotechnik. IX, S. 189 u. 217. G. Wiedemann: Die Lehre von der Elektricität. 1885, Bd. IV, Abth. II, S. 831. Zacharias: Centralblatt für Elektrotechnik. VIII. (1886), S. 676.

die Erzeugung des Lichtbogens eine Stromschwächung bewirkt wird, die unabhängig von der Bogenlänge ist. Als Ursache dieser Stromschwächung könnte man nun zunächst zweierlei vermuthen: Es kann der Uebergangswiderstand sein, welcher beim Uebergange der Elektricität aus dem festen Leiter in die Luft zur Geltung kommt, oder es wird bei Herstellung des Lichtbogens in diesem selbst eine elektromotorische Kraft hervorgerufen, welche jener der Elektricitätsquelle entgegenwirkt. Diese beiden Ansichten über die Ursache der Stromschwächung sind es nun auch, welche durch die nachher durchgeführten vielfachen Untersuchungen begründet, beziehungsweise widerlegt werden sollen. Edlund selbst glaubte eine elektromotorische Gegenkraft annehmen zu sollen und suchte diese Ansicht durch Versuche und theoretische Erläuterungen zu bekräftigen.

Für die Ansicht Edlund's traten später v. Lang, Dub, Frölich, Peukert u. A. ein, wobei die zwei letztgenannten, an dem hohen Werthe (etwa 40 *V*) der elektromotorischen Gegenkraft Anstoss nehmend, neben dieser auch noch einen Uebergangswiderstand voraussetzen.

Dub suchte der Beantwortung der Frage auf einem von dem gewöhnlichen abweichenden Wege näher zu kommen. Er ging nämlich von der Annahme aus, dass thatsächlich eine elektromotorische Kraft vorhanden sei, dass diese durch rein mechanische Wirkungen hervorgerufen werde, und suchte dann auf nicht elektrischem Wege Vorgänge hervorzurufen, wie jene, die im elektrischen Lichtbogen thätig sind; war die Annahme

richtig, so musste dann durch diese Vorgänge eine leicht messbare elektromotorische Kraft erzeugt werden.

Zur Ausführung des Versuches wurde eine Kohlenplatte *b* neben einer anderen *a* etwas unterhalb derselben angeordnet, und über die erstere strich die Flamme eines starken Gebläses, so dass die von *b* abgerissenen Kohlentheilchen gegen *a* geschleudert wurden. Die hierbei erhaltenen Nadelausschläge des mit den Platten verbundenen Galvanoskops zeigten stets einen Strom an, der in entgegengesetzter Richtung lief als der Gebläsestrom. Der Strom war jedoch sehr schwach, wahrscheinlich wegen der zu niedrigen Temperatur (ungefähr 900°). Dub bringt die Vorgänge in seinen Versuchen mit jenen im Lichtbogen in folgende Beziehungen: Der durch Erhitzung der Kohlen erzeugte Strom fliesst von der kälteren auf die wärmere Kohle über und entspricht daher einem Gegenstrom, der von der negativen Kohle des Lichtbogens auf die positive überfliessen würde. Im Lichtbogen werden vom Strome Kohlentheilchen abgerissen; in den Versuchen erzeugen die abgerissenen Theilchen Strom. Der Strom leistet im Lichtbogen mechanische Arbeit, welche u. a. im Abreissen von Theilchen von der festen Kohle besteht. Erhitzt man die Polkohlen dazu noch auf künstlichem Wege, so wird die Arbeit verringert, die elektromotorische Kraft des Lichtbogens nimmt zu, weil die Gegenkraft abnimmt.

Nebel, Uppenborn, Lecher, Wiedemann u. A. suchen hingegen die durch den Lichtbogen bewirkte Stromschwächung auf andere Ursachen als das Auftreten einer elektromotorischen Kraft zurückzuführen.

So ist Nebel auf Grund seiner sehr eingehenden Versuche zu folgenden Ergebnissen gelangt:

1. Bei unveränderter Bogenlänge sinkt die Spannungsdifferenz bei Stromzunahme anfangs stark, erreicht ein Minimum und steigt dann wieder langsam.

2. Dieses Minimum von Spannungsdifferenz verschiebt sich mit wachsender Bogenlänge im Sinne der Stromzunahme.

3. In der Beziehung zwischen Spannungsdifferenz und Bogenlänge ($D = a + bL$) ist nicht erwiesen, ob die Constante a von der Stromstärke abhängt, während eine solche, allerdings sehr gering, bei der Constanten b vorhanden zu sein scheint. Uppenborn hat auf Grund seiner Versuche diesen Punkt in folgender Weise ergänzt: Die Constanten a und b sind von der Stromdichte abhängig; a nimmt mit wachsender Stromdichte zu und zwar von etwa 25 bis 45, b nimmt mit wachsender Stromstärke ab. Die Constanten a und b sind bei gleicher Stromstärke abhängig von der Beschaffenheit der Kohlenstäbe.

4. Die Constante a, genannt die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens, nimmt mit wachsendem Kohlendurchmesser ab.

5. Die Constante a kann keine elektromotorische Gegenkraft im Sinne derjenigen von Flüssigkeiten sein. Nach Uppenborn bedeutet sie vielmehr einen Spannungsverlust infolge eines Uebergangswiderstandes; letzterer nimmt mit wachsender Stromstärke und wachsendem Querschnitte des Bogens ab.

Wenn sich auch gegenwärtig die Mehrzahl der Fachmänner dieser Ansicht bezüglich der Constanten

a anzuschliessen scheint, sollen doch schliesslich noch zwei Vermuthungen mitgetheilt werden, welche eine andere Erklärung nicht unmöglich erscheinen lassen. So meint G. Wiedemann, der Bogen könne aus einer grossen Anzahl sehr schnell hintereinander folgender einzelner Entladungen bestehen, indem die freie Spannung an den Elektroden einen gewissen Werth erreichen müsste, bis Materie und mit ihr eine gewisse Elektricitätsmenge, welche die Materie zum Glühen bringt, im Bogen überginge, ebenso wie ja auch zur Bildung des elektrischen Funkens eine bestimmte, einseitig gerichtete Potentialdifferenz erforderlich ist. Wenn auch der Lichtbogen im rotirenden Spiegel continuirlich erscheint, so ist dies kein Gegenbeweis, da nur die bei jeder Einzelentladung verschwundene Potentialdifferenz durch die den Strom liefernde Maschine so schnell wieder erneuert zu werden braucht, dass die einzelnen Entladungen in zu kurzer Zeit auf einander folgen, um im Spiegel getrennt zu erscheinen.

E. Lecher*) hat in einer längeren Reihe von Versuchen diese Ansicht über die Natur des Voltabogens geprüft und glaubt auf Grund derselben die Vermuthung aussprechen zu können, es sei der Uebergang der Elektricität im Lichtbogen ein discontinuirlicher. Bei Anwendung von Kupfer- und Silberelektroden erfolgen aber die einzelnen Stösse wahrscheinlich so schnell, dass sie sich thatsächlich nicht mehr nachweisen lassen. Die Anzahl der einzelnen Stösse ist bei Eisen und vor Allem bei Platin eine bedeutend kleinere und man kann daher mit den bis jetzt angewandten Hilfsmitteln die

*) Centralbl. f. Elektrotechnik, X. (1888), S. 47.

Erscheinung hier bereits feststellen. Die Kohle scheint nach den bis jetzt gemachten Versuchen trotz der hohen Potentialdifferenz von Kohlenelektroden in Bezug auf Discontinuität des Lichtes dem Kupfer und Silber näher zu stehen als dem Eisen und Platin.

Lecher weist ferner auch darauf hin, dass ausser der elektromotorischen Gegenkraft, des Uebergangswiderstandes und der Discontinuität der Entladung auch noch die räumliche Ausbreitung der Elektricität zwischen den beiden Elektroden zur Erklärung herangezogen werden könne. Er untersuchte auch den Potentialverlauf im Innern des Bogens, indem er seitlich und senkrecht zu demselben einen feinen Kohlenstift einführte. Es ergab sich hierbei für die verschiedenen Stellen des mindestens 2·5 *mm* langen Bogens ein fast unveränderliches Potentiale; dieses änderte sich auch dann nicht, wenn der Kohlenstift in senkrechter Richtung auf den Bogen aus diesem ziemlich weit herausgezogen wurde, was auf eine ziemlich erhebliche räumliche Ausdehnung des Lichtbogens schliessen lässt.

Aus diesen Untersuchungen ergibt sich aber auch, dass der Widerstand des Lichtbogens viel kleiner ist, als er nach der gewöhnlichen Deutung der Constanten b (in der Formel $w = a + bl$) sein müsste. Ferner ergibt sich hieraus, dass die gesammte Potentialdifferenz sich aus zwei Theilen zusammensetzt. Es findet nämlich unmittelbar an der positiven, heisseren Elektrode ein sehr bedeutender Potentialsprung (von 36 V), an der negativen kälteren ein weitaus kleinerer (von 10 V) statt.

Zu einem hiermit übereinstimmenden Resultate gelangte Uppenborn, als er untersuchte, wo der eigentliche Hauptwiderstand, die Constante *a*, zu suchen sei. Wie bereits erwähnt, deutet schon das breite Aufsitzen des Lichtbogens auf der positiven Elektrode (Fig. 4, S. 29) auf einen hohen Uebergangswiderstand hin. Es erscheint daher von vorneherein wahrscheinlich, dass der Spannungsverlust *a* der Hauptsache nach beim Uebergange des Stromes von der positiven Kohle in die Luft stattfindet, und thatsächlich wurde dies auch durch directe Messungen bestätigt. Bei einem Lichtbogen, dessen Länge zwischen 6 und 16 *mm* betrug, wurde aus 60 Einzelmessungen *a* zu 38·0 *V* gefunden und zwar 32·5 beim Uebergange von der positiven Kohle in die Luft und 5·5 beim Uebergange von der Luft in die negative Kohle.

3. Die Theilung des elektrischen Lichtes.

Wenn es sich um die Beleuchtung eines gegebenen Raumes handelt, genügt es in der Mehrzahl der Fälle nicht, ein wenn auch noch so intensives Licht aufzustellen, da dieses in seiner unmittelbaren Umgebung zu grell, in weiterer Entfernung aber wegen der im Quadrate mit der Distanz abnehmenden Lichtstärke zu schwach leuchten, den ganzen Raum also höchst ungleichförmig erhellen würde. Hierzu käme noch die Bildung sehr intensiver Schlagschatten. Bei Anwendung mehrerer Lichter für jedes einzelne eine eigene Lichtmaschine aufzustellen, würde aber ausser den Schwierigkeiten der Installation auch die Kosten in einer Weise

steigern, die an eine rationelle Anwendung des elektrischen Lichtes gar nicht denken liesse.

Man war daher schon frühzeitig bestrebt, eine Lichtmaschine zur Speisung mehrerer Lampen zu verwenden. Quirini (1855) und Deleul versuchten zunächst mehrere Lampen hinter einander in den Stromkreis einer Maschine einzuschalten — aber ohne Erfolg. Wenn auch die Maschine hinreichende elektromotorische Kraft für die Erhaltung mehrerer Voltabogen besass, störten sich doch die Lampen unter einander derart, dass an eine solche Schaltung nicht zu denken war. Le Roux (1868) wollte die Theilung des Stromes erreichen, indem er in den Stromkreis ein sogenanntes Vertheilungsrad einschaltete und dieses zu so rascher Rotation veranlasste, dass die Unterbrechung des Stromes nie mehr als $^1/_{25}$ Secunde betrug.*) Obwohl bei dieser Einrichtung der Strom bald durch die eine, bald durch die andere Lampe geht, erscheint doch das Licht beider Lampen dem Auge als constantes, da einerseits die Lichteindrücke zu rasch aufeinander folgen, als dass sie vom Auge getrennt wahrgenommen werden könnten, anderseits aber bei der Unterbrechung des Stromes die Kohlen nicht sofort zu glühen aufhören. Mersanne erdachte im Jahre 1873 ein Theilungsverfahren, welches er in ganz ähnlicher Weise wie Le Roux zu realisiren

---

*) Um den Voltabogen zu erzeugen, müssen die Kohlen erst zur Berührung gebracht und dann wieder von einander entfernt werden, bei Unterbrechung des Stromes erlischt natürlich der Bogen. Le Roux fand aber, dass bei einer Unterbrechungsdauer von nur $^1/_{25}$ Secunde der Bogen sich ohne vorhergegangene Berührung der Kohlen wieder erzeugt.

strebte. Beide erzielten aber keine praktisch verwendbaren Resultate.

De Changy versuchte (ca. 1858) die Lichttheilung für Glühlichter durch Stromverzweigung, indem er den Hauptstromkreis bei jeder Lampe in zwei Zweige theilte, in den einen Zweig die Lampe und einen Elektromagnet und in den zweiten Zweig, der die Hauptleitung bildete, den Anker des Elektromagnets einschaltete. Anfänglich vertheilt sich hierbei der Strom den respectiven Widerständen entsprechend in beide Zweige, dann zieht aber der Elektromagnet seinen Anker an und unterbricht den Hauptstromkreis. Hierdurch wird der ganze Strom gezwungen, durch die Nebenschliessung zu gehen und bringt die Lampe zum Leuchten. Durch das heftige Glühen des Platindrahtes (denn ein solcher war in der Glühlampe verwendet) stieg aber der Widerstand in der Nebenschliessung so bedeutend, dass der Magnet infolge der hiermit verbundenen Stromschwächung seinen Anker nicht mehr halten konnte und deshalb durch Fallenlassen desselben der Hauptstromkreis wieder geschlossen wurde. Mit dieser Theilung des Stromes nahm das Glühen der Lampe wieder ab und mit diesem auch abermals der Widerstand der Nebenschliessung: der Anker wurde deshalb neuerdings angezogen. In solcher Art wurde eine stetige Regulirung erzielt, sie fand aber keine Anwendung in der Praxis, da die Glühlampen mit Platindrähten sich nicht brauchbar erwiesen.

Den ersten praktischen Schritt zur Theilung des elektrischen Lichtes machte Paul Jablochkoff im Jahre 1876 durch die Erfindung seiner Kerze. Diese

erlaubte es endlich, eine grössere Anzahl von Lichtern in einen Stromkreis zu schalten und hatte in kürzester Zeit eine grosse Verbreitung der elektrischen Beleuchtung zur Folge.

Jedoch Uebelstände mannigfacher Art, welche die Anwendung der Jablochkoff-Kerze mit sich bringt, liessen es als wünschenswerth erkennen, die Theilung des Lichtes mit Benützung von regulirenden Bogenlampen anzustreben. Gegenwärtig ist diese Aufgabe durch entsprechende Schaltungen in der Maschine und entsprechende Anordnung der Lampen in den Leitungen gelöst. Alle diese Stromführungen, sowohl in den Maschinen als auch in den Lampen, beruhen auf der zweckmässigen Anwendung der für Stromverzweigungen geltenden Gesetze.

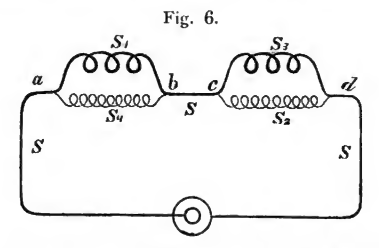
Man unterscheidet die Hintereinander- (Serien-) Schaltung und die Nebeneinander- (Parallel-) Schaltung der Lampen und benützt erstere vorwiegend für Bogenlampen, letztere hauptsächlich für Glühlampen; immerhin können aber auch Bogenlampen nebeneinander oder Glühlampen hintereinander geschaltet werden.

Die einfachste Art der Stromverzweigung ist die, dass der Strom an einer Stelle a (Fig. 6) sich in zwei oder mehrere Theile S_1 S_4 theilt, die sich an einem zweiten Punkte b wieder zu einem Strome vereinigen.

Die Stromstärken in den Zweigen S_1 und S_4 werden sich hierbei umgekehrt verhalten wie die Widerstände dieser Zweige und die Summe der Stromstärken in beiden Zweigen wird gleich sein der Stromstärke im ungetheilten Leiter S. Dasselbe gilt auch für eine zweite Verzweigung bei c und Wieder-

vereinigung bei *d* für die Ströme in S_3 und S_2. Schaltet man in diesen Stromkreis Lampen derart ein, dass ihre Kohlen in S_1 respective S_3 kommen, ihr Regulirungsmechanismus aber von S_2 beziehungsweise S_4 in Bewegung gesetzt wird, so ist hiermit die Lichttheilung durch Stromverzweigung gelöst, denn jetzt functionirt das System folgendermaassen: Der Strom theilt sich bei *a* in zwei Theile, deren weitaus grösserer durch S_1 geht, weil hier, so lange sich die beiden Kohlen berühren, der Widerstand ein geringer ist, in S_4 aber eine Draht-

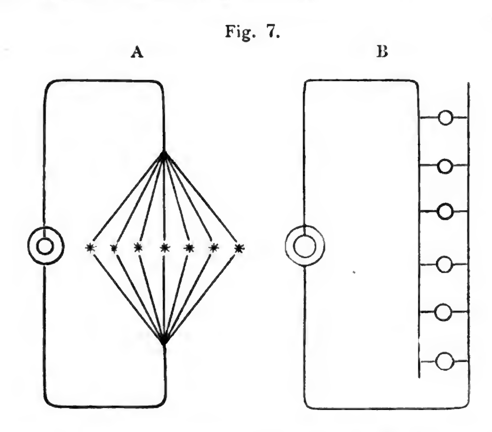
Fig. 6.



spirale von hohem Widerstande sich befindet. Nun gehen aber die Kohlen auseinander und es bildet sich der Lichtbogen; dadurch wird der Widerstand in S_1 vergrössert und erreicht durch das fortgesetzte Abbrennen der Kohlen endlich eine Höhe, die jene in der Spirale des Regulirungsmechanismus überragt. Es wird daher jetzt in S_4 der stärkere, in S_1 der schwächere Stromantheil durchfliessen und ersterer Umstand bewirken, dass der Regulirungsmechanismus in Thätigkeit kommt, das heisst es werden die Kohlen wieder einander genähert werden. Wie aus dieser Betrachtung ersichtlich, erfolgt die Regulirung der Lampe innerhalb der

Punkte *a* und *b*, und die Stromstärken wechseln auch nur in den Zweigen zwischen diesen Punkten. Die Stromstärke in der ungetheilten Leitung bleibt aber unverändert; wenn deshalb zwischen *c* und *d* eine zweite Lampe eingeschaltet wird, ist dieselbe von den Regulirungen und damit verbundenen Stromschwankungen in der ersten Lampe unabhängig.

Fig. 7.



Die Nebeneinander- (oder Parallel-) Schaltung (Fig. 7 *A* und *B*) unterscheidet sich von der Hintereinanderschaltung wesentlich dadurch, dass bei letzterer der Strom die verschiedenen Zweige stets zeitlich nach einander durchläuft, während bei der Parallelschaltung die einzelnen Zweige gleichzeitig passirt werden. Der Widerstand des glühenden und leuchtenden Kohlenbügels tritt hier an die Stelle des Widerstandes im Voltabogen.

Die Stromverzweigung sowohl in Form der Hintereinanderschaltung als auch in Form der Parallelschaltung ist immer mit Arbeitsverlust verbunden. Die Summe der Normalkerzen, welche eine gegebene Maschine mit Theilungslichtern erzeugen kann, ist immer kleiner als die Zahl der Normalkerzen des mit derselben Maschine erzeugten Einzellichtes. Ein einfaches Beispiel *) möge dies erläutern. Gesetzt, die Stärke eines Stromes sei S, wenn derselbe ein Einzellicht zu speisen hat, und dieses den Gesammtwiderstand w leistet; da die in der Lampe durch den Strom erzeugte Wärme nach Joule $w\,S^2$ ist und annäherungsweise als Maass der Lichtstärke einer Lampe gelten kann, so ist die letztere proportional $w\,S^2$ zu setzen. Werden aber in denselben Stromkreis n Lampen geschaltet, welche einzeln den Gesammtwiderstand w leisten, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke nur noch $= \frac{S}{n}$, die in einer einzelnen Lampe gebildete Wärme also $= w\left(\frac{S}{n}\right)^2$ und die in den n Lampen erzeugte Wärme $= n . w . \left(\frac{S}{n}\right)^2 = w . S^2 . \frac{1}{n}$. Diese Grösse stellt dem Obigen gemäss die Stärke des getheilten Lichtes dar und zeigt also, dass die letztere nur den $n$ten Theil der Stärke des Einzellichtes im vorliegenden Falle beträgt.

Soll die Stärke des getheilten Lichtes gleich der des Einzellichtes werden, so muss man den ursprünglich gegebenen Strom (S) verstärken; bezeichnen wir

*) Dr. H. Schellen: Die magnet- und dyn.-elektr. Maschinen. II. Aufl., S. 514.

etwa mit x die hierzu erforderliche höhere Stromstärke, so muss

$$w x^2 . \frac{1}{n} = w S^2, \text{ also } x = S \sqrt{n}$$

sein; 4, 9, 16 . . . Lampen müssen daher durch einen 2, 3, 4 . . .mal stärkern Strom gespeist werden, wenn sie zusammen die Lichtstärke des Einzellichtes erreichen sollen.

II.

Lampen und Beleuchtungskörper.

Zur Erzeugung des elektrischen Lichtes sind gegenwärtig zwei Methoden in Uebung: Die eine bedient sich des Voltabogens und die andere benützt die Eigenschaft des elektrischen Stromes, Körper von hohem Leitungswiderstande (in der Regel Kohle) zur heftigen Weissgluth zu erhitzen. Das Licht Geissler'scher Röhren, das Phosphorescenzlicht und der Inductionsfunke haben es zu keiner irgendwie nennenswerthen praktischen Anwendung gebracht. In welcher Weise nach der einen oder der anderen Methode die Umsetzung der elektrischen Energie in Licht erfolgt, wurde im ersten Abschnitte ausführlich erörtert; die praktischen Formen, in welche diese Methoden gebracht wurden, sind aber folgende:

1. Man setzt an jener Stelle des Stromkreises, an welcher man Licht erzeugen will, einen Leiter von grossem Leitungswiderstande ein, der von dem durch-

fliessenden Strome derart erhitzt wird, dass er zu heller Weissgluth gelangt (Vacuumlampen).

2. Man unterbricht an der gewünschten Stelle den Stromkreis und bringt die beiden Enden desselben, von welchen eines immer ein Kohlenstäbchen ist, nur zu loser Berührung; dieser Umstand und der geringe Querschnitt des Kohlenstäbchens schafft dem Stromdurchgange an der Berührungsstelle beider Enden gleichfalls ein bedeutendes Hinderniss. Ist der Kohlenstab mit dem positiven Pole der Elektricitätsquelle in Verbindung, so kommt er an der Berührungsstelle mit dem zweiten Ende des Stromkreises in lebhaftes Glühen und verbrennt unter starker Lichtentwicklung (Contactglühlampen oder Halbglühlampen).

3. Man bedient sich zur Lichterzeugung des Voltabogens (Bogenlampen mit Regulirungsvorrichtungen und Kerzen).

Zu ausgedehnter industrieller Verwendung sind nur die unter 1. und 3. bezeichneten Formen gelangt, und daher sollen auch hauptsächlich nur diese ausführlicher unter den zusammenfassenden Titeln: »Glühlampen und Bogenlampen« besprochen werden.

1. Glühlampen.

Die Versuche, Glühlampen herzustellen, die sich zum praktischen Gebrauche eignen, sind schon vor geraumer Zeit begonnen worden.*)

*) La lumière électrique. VI. (1882), S. 530. Elektrotechn. Zeitschr. III. (1882), S. 342. Elektrotechn. Rundschau. I. (1884), S. 161; II. (1885), S. 7. H. Fontaine, Die elektrische Beleuchtung. Deutsch von F. Ross. II. Aufl. (1880), S. 241—253. Schellen,

Die erste Erwähnung, einen durch den galvanischen Strom zum Glühen erhitzten Leiter im Vacuum zur Beleuchtung zu verwenden, scheint im *Courier Belge* im Jahre 1836 zu finden zu sein, welche von *Lomjet* in den *Comptes Rendus* 1846 angeführt wird:

»Nous voulons parler de l'incandescense de charbon produite dans le vide au moyen d'une pile voltaique.«

Jobart in Brüssel machte kurze Zeit darauf, im Jahre 1838, den Vorschlag, eine kleine Kohle in einem luftleeren Gefässe als Leiter für den elektrischen Strom zu benützen und diese Vorrichtung dann als Lampe zu gebrauchen. Im Jahre 1841 liess sich F. Moleyns in Cheltenham ein Patent auf eine Lampe geben, welche darauf beruhte, dass auf eine glühende Platinspirale feines Kohlenpulver fiel. Jobart's Schüler de Changy nahm die Idee seines Lehres im Jahre 1844 wieder auf und construirte eine Lampe mit einem Stäbchen von Retortenkohle; Starr (Patent King) benützte 1845 ebenfalls ein glühendes Kohlenstäbchen im Vacuum, Greener und Staite construirten 1846 eine der King'schen ähnliche Lampe, Petrie schlug 1849 vor, an Stelle des Platins Iridium anzuwenden, und 1858 nahm Changy sein erstes Patent auf eine Glühlampe mit Platindraht und die Theilung des elektrischen Lichtes in der auf Seite 51 dieses Buches beschriebenen Art. Du Moncel erhielt bei seinen Versuchen mit dem Rhumkorff'schen Inductionsapparat

---

Dr. H.: Die magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen. II. Aufl. (1882), S. 472 ff. Alglave et Boulard: La lumière électrique (1882), p. 168 ff. Le comte Th. du Moncel: L'éclairage électrique. II. Aufl. (1883), t. II, p. 39, 204.

1859 die schönsten Glüheffecte mit Kohlenfilamenten aus Kork, Schafleder u. s. w. 1873 wandte Lodyguine Kohlenstäbe in hermetisch geschlossenen Gefässen an und gab ersteren an der Stelle, wo sie glühen sollten, einen verringerten Querschnitt. Im Jahre 1875 folgte die Lampe von Konn; auch dieser bediente sich der Kohlenstäbe im Vacuum, konnte aber keine praktisch verwerthbare Lampe erhalten. Ebenso erging es im Jahre 1876 dem russischen Officier Bouliguine. Im Jahre 1845, als Staite seine Vorlesung im Sunderland Athenaeum hielt, befand sich unter seinen Zuhörern auch Swan, dessen Aufmerksamkeit hier zum erstenmale auf das elektrische Licht gelenkt wurde. Er fing auch bald darauf an, selbst Versuche anzustellen, indem er sich dabei an den im Patente King aufgestellten Satz hielt, dass die Glühkohle so dünn wie möglich sein müsse. Diese Versuche wurden jedoch abgebrochen, bevor sie zu einem praktisch verwerthbaren Ergebnisse geführt hatten, und erst im Jahre 1877 neuerdings aufgenommen, nachdem inzwischen die dynamo-elektrischen Maschinen einerseits und die Quecksilber-Luftpumpen anderseits wesentlich vervollkommnet waren. Swan setzte in den folgenden Jahren, gemeinschaftlich mit Stearn, seine Versuche fort und erhielt im Jahre 1880 (2. Jänner) das Patent auf seine Glühlampe. Dieselbe wurde übrigens schon im December 1878 bei einer Versammlung der *Newcastle on Tyne Chemical-Society* ausgestellt und in einer Sitzung im März 1879 besprochen,*) nachdem sie im Februar und März desselben Jahres in Thätigkeit vorgeführt worden war.

*) Chemical News, 18. April 1879 und 27. Juni 1879.

Diese Lampe bestand bereits aus einem Kohlenfaden in Form einer einfachen Schleife, welche in einem möglichst luftleer gemachten Glasgefässe eingeschlossen war.

Sawyer und Man*) (Patent vom November 1878) suchten die Kohle von absorbirten Gasen und namentlich von Sauerstoff zu reinigen, indem sie dieselbe durch den elektrischen Strom zum Glühen erhitzten und dann in Stickstoff wieder erkalten liessen. Sie bedienten sich der Weidenholzfasern zur Herstellung der Kohlen und machten diese an und für sich leicht zerbrechliche Kohle dadurch stahlhart, dass sie dieselbe durch den elektrischen Strom in Kohlenwasserstoffgasen glühten, wobei sich Kohlentheilchen von metallglänzendem Aussehen auf der Weidenkohle niederschlugen und dadurch in der angegebenen Weise veränderten; hier ist also bereits das Carbonisiren des Kohlenbügels durchgeführt.

Lane Fox erhielt das Patent auf seine Glühlampe im November 1878.

Edison endlich hat im Jahre 1878 seine Glühlampe mit Platindraht angefertigt und im December 1879 ein Patent auf eine Glühlampe mit Papierkohle genommen. Praktisch verwerthbar war jedoch keine der beiden Lampen. Das Patent auf die gegenwärtig vielfach in Gebrauch stehende Glühlampe mit Bambusrohr-Kohle ist vom 16. December 1880 datirt. Es mag hierzu noch bemerkt werden, dass, wenngleich Edison nicht als der Erfinder der Glühlampen überhaupt bezeichnet werden kann, ihm doch das unbestreitbare

*) Scientific American 1878.

Verdienst zuzuschreiben ist, das erste vollkommen durchgebildete und daher praktisch verwendbare elektrische Beleuchtungssystem geschaffen zu haben.

Glühlampe von Edison.

Bei dieser Lampe wird der Kohlenbügel aus Bambusfasern hergestellt. Durch Maschinen wird das Bambus entschält, in Fasern getheilt und diesen die entsprechende Form mit einer bewunderungswürdigen Regelmässigkeit gegeben. Sie sind etwa 1 *mm* breit, 12 *cm* lang und werden in die Gestalt eines U gebracht.

Dann werden diese Bambusbögen in Eisenformen von entsprechender Gestalt sorgfältig eingeschlossen und zu Tausenden in einen Ofen eingesetzt; die Verkohlung ist rasch beendet und wenn man die Formen, nachdem sie erkaltet sind, öffnet, findet man an Stelle der Bambusfasern einen Faden vegetabilischer Kohle von hinreichender Feinheit, Härte und Festigkeit. Der Kohlenbügel wird hierauf an Platindrähten befestigt, worauf man diese sorgfältig in ein Glasgefäss von der Form einer Birne einschmilzt (Fig. 8). Während des Luftauspumpens aus den Glasgefässen wird durch die Kohlenbügel ein elektrischer Strom gesandt, der den Zweck hat, durch Erhitzen der Kohlen die von diesen absorbirten Gase auszutreiben, was zur Festigkeit der Kohlenfäden unbedingt erforderlich ist.

Damit zu hohe Temperaturen die mit den Platindrähten durch galvanische Verkupferung verbundenen Kohlenfasern an den Verbindungsstellen nicht abschmelzen, werden die Fasern an ihren Enden in sol-

chem Maasse verstärkt, dass der Widerstand für den Strom daselbst nur gering ist. Die freien Enden der

Fig. 8.

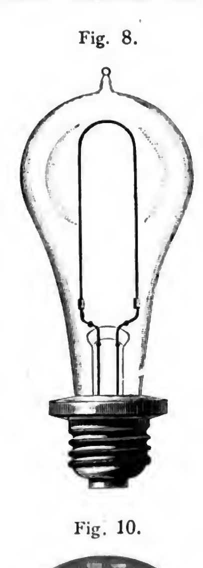


Fig. 9.

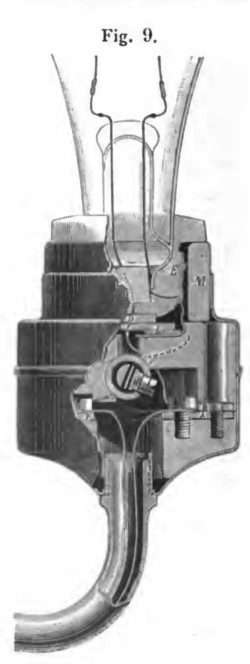
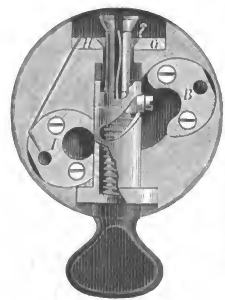


Fig. 10.



Platindrähte werden mit den Kupfergarnituren *D* und *E* verbunden, welche durch Gypsfüllung von einander isolirt sind.

Die Figuren 9 und 10 veranschaulichen Fassung und Sockel der Lampe in Längs- und Querschnitten, erstere mit Messinggarnituren ausgestattet, von denen *F* das Muttergewinde der an der Lampe angebrachten Schraube, *C* den Boden bildet. Beide sind mit Leitungsdrähten versehen und durch eine Scheibe *L* aus einer isolirenden Masse getrennt, deren Aufgabe, wie die des Holzringes *M*, darin besteht, die benachbarten Metallflächen zu isoliren.

Mit dem Einschrauben der Lampe in die Fassung entsteht zwischen Schraubengewinde *E* und Mutter *F* sowie den Platten *C* und *D* gleichzeitiger Contact. Innerhalb der zweitheiligen, mit Messingblech bekleideten Holzfassung wird die Leitung durch Berührung zweier auf einander geschraubter Plattenpaare *B*, *I* und *A*, *K* hergestellt. An erstere sind die von den Garnituren *C* und *F* ausgehenden Drähte gelöthet, bei letzteren werden die Leitungsdrähte mit Schrauben gegen die Platten *A* und *K* gepresst. Die Befestigung der Fassungen an Wandarmen und Kronleuchtern, in deren Röhren man die Leitungsdrähte legt, geschieht, wie aus der Fig. 9 ersichtlich, durch Einschrauben des mit einem Glasgewinde versehenen Rohrendes.

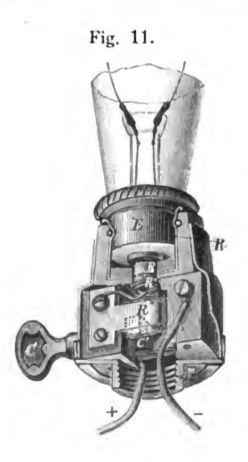
Die Figuren 9 und 10 stellen zugleich die sinnreiche Vorrichtung zum Anzünden und Auslöschen der Lampen durch die bei Gasbeleuchtungs-Gegenständen übliche Hahndrehung dar, zu welchem Zwecke der von der Garnitur *F* ausgehende Draht nicht direct zur Platte *I* geführt, sondern in der Mitte unterbrochen wird, so dass eine Hälfte von *F* mit *G*, die andere *H* mit *I* communicirt. Da beide Plattenhälften *G* und *H* von

einander isolirt sind, muss beim Anzünden der Lampe ein Contact zwischen ihnen hergestellt werden, der dem Strom den Uebergang gestattet und durch dessen Unterbrechung das Licht wieder erlischt. Um dies zu ermöglichen, sind die Löcher der Platten G und H innen versenkt, so dass der in der Axe dieser Höhlung bewegliche, geschlitzte und in einen Conus endigende Zapfen A in der trichterförmigen Oeffnung sich genau anschmiegen kann, in welchem Bestreben er durch die in dem Schlitze angebrachte Druckfeder zur erhöhten Sicherheit des Contactes noch unterstützt wird. Um durch die Drehung des Hahnes nach beiden Richtungen eine axiale Bewegung zu erhalten, ist an dem Zapfen ein Zahn befestigt, dessen Kopf in einer schraubenartigen Coulisse geführt wird. Es ist aus der Zeichnung leicht ersichtlich, dass durch die Drehung des Hahnes in dem einen oder anderen Sinne der Conus in die Platten H und G hineingezogen wird und den Strom schliesst oder aus demselben heraustritt und die Leitung unterbricht. Wenn der Conus den Contact zwischen den Platten G und H hergestellt hat, tritt der Strom (Fig. 9) durch den Zuleitungsdraht in die Scheibe A, von dieser durch B zur Bodenplatte C der Fassung, hierauf durch den Contact mit der Scheibe D in die Lampe, in welcher er nacheinander den von letzterer ausgehenden Platindraht und die Kohlenfaser durchfliesst, um durch den andern Platindraht zur Garnitur E zurückzukehren, deren Schraubengewinde ihm den Wiedereintritt in die Fassung durch die Mutter gestattet. Mittelst des an letztere gelötheten Drahtes gelangt der Strom nunmehr zur Scheibenhälfte G und

über den Conus zur Hälfte *H*, die er durch den Draht *HI* und die Platte *K* mittelst des Ableitungsdrahtes verlässt.

Ein sehr einfacher Lampenhalter sammt Hahn für Edison-Lampen wurde von Cabelli erdacht. Die Lampe wird von dem Lampenhalter festgehalten, indem man erstere mit ihrer Fassung *E* (Fig. 11) in eine federnde, gespaltene Kapsel drückt. Der mit einem Elektrodenende der Lampe verbundene Zapfen *B* steht durch die Feder *R'* mit dem Metallblättchen *R''* in leitender Verbindung, während die zweite Elektrode unter Vermittlung der Fassung *R* mit einem zweiten ebensolchen Metallblättchen verbunden ist. Zwischen diesen beiden federnden Blechen lässt sich mit Hilfe des Hahnes *C* das Metallprisma *C'* derart drehen, dass es entweder mit den Blechen Contact macht, also einen kurzen metallischen Schluss bewirkt, wodurch die Lampe ausgelöscht wird, oder zwischen beiden Blechen steht, ohne eines derselben zu berühren und dadurch den elektrischen Strom zwingt, durch den Kohlenbügel der Lampe zu gehen.

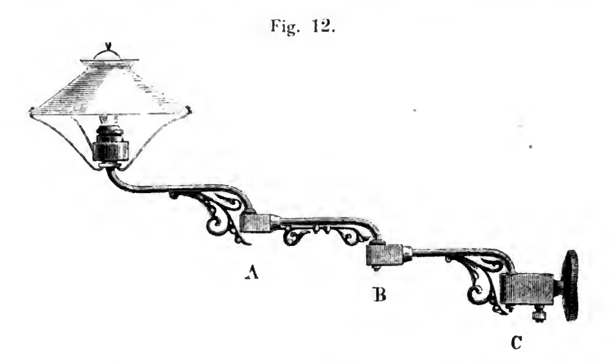
Fig. 11.



Der in Fig. 12 dargestellte Wandarm hat bei *A*, *B* und *C* Gelenke; Fig. 13 zeigt die innere Einrichtung der Gelenke *A* und *B*. Die Leitungsdrähte dringen auf

der rechten Seite in die Kammer ein und sind an zwei von einander isolirten Metallstücken befestigt; diese schleifen auf zwei Metallscheiben, die gleichfalls von einander isolirt, am verticalen Theile des Knierohres aufgesetzt sind und sich mit diesem drehen. Jede der Scheiben des Cylinders ist mit einem Leitungsdrahte verbunden, der dann in der Röhre fortlauft. Bei *C* be-

Fig. 12.

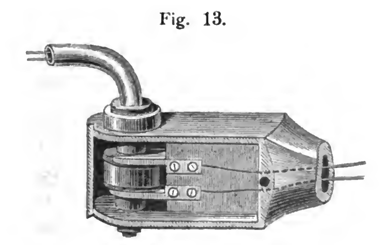


findet sich überdies noch ein Hahn von der bereits beschriebenen Construction.

Ein Stück des Drahtes in der Hahnkapsel ist aus Blei; es hat dies den Zweck, bei etwaigem Anwachsen des Stromes in der Leitung über jene Stärke, welche für die Lampe geeignet ist, diese gegen Beschädigung (Zerstörung des Kohlenbügels) zu schützen. Der Durchmesser des Bleidrahtes ist nämlich so bemessen, dass der Draht sich bis zum Schmelzen erwärmt und auf diese Weise den Strom eben dann unterbricht, wenn letzterer eine gefährliche Stärke anzunehmen droht.

Werden zwei oder mehrere Glühlampen nicht nebeneinander, sondern hintereinander geschaltet, so hat das z. B. durch Brechen des Kohlenbügels bewirkte Erlöschen einer Lampe auch jenes aller übrigen Lampen desselben Stromkreises zur Folge. Um dies zu verhindern, wendet man für solche Lampen selbstthätige Kurzschlüsse an. Edison verfährt hierbei in folgender Weise: Während des regelmässigen Betriebes der Lampe fliesst der Strom von *e* (Fig. 14) über *c a f* in den Kohlenbügel

Fig. 13.



und dann, aus diesem kommend, über *f' b d e'* weiter. Bricht jedoch der Kohlenbügel, so geht durch den schwachen Sicherheitsdraht *i* ein so kräftiger Strom, dass er abschmilzt; dieser Hilfsdraht ist nämlich bei *m* mit *f* verbunden. Sobald aber *i* abgeschmolzen ist, dehnt sich die Spiralfeder *l* aus und bringt dadurch den Stiften *k* zur Berührung mit *d*. Der Strom geht daher im kurzen Wege (*e c a m k d e'*) durch die Lampenfassung zur nächsten Lampe weiter.

Aehnliche Kurzschlüsse und solche unter Anwendung von Elektromagneten sind auch von Holzer,

Dick und Kennedy, Hibbert-Johnson, Thomson-Houston, Heisler und Anderen erdacht worden.*)

Edison ging noch weiter; er construirte auch einen Regulator in der Lampe selbst, welcher erlaubt, die Lichtstärke ganz nach Belieben herzustellen.

Fig. 14.

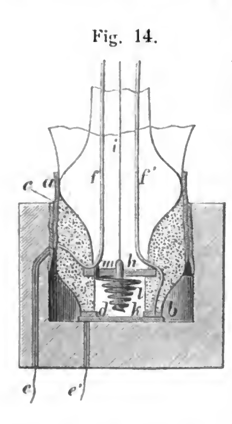
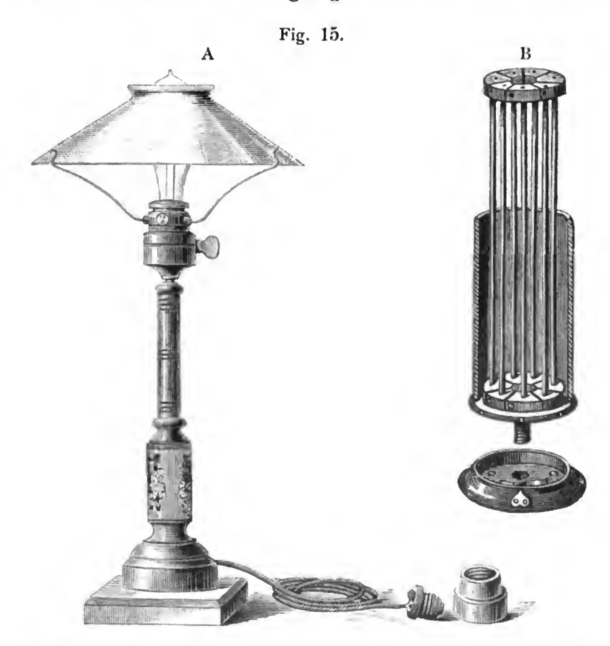


Fig. 15 *A* zeigt eine tragbare Lampe und Fig. 15 *B* den Regulator. Dieser ist eine Art Kohlenwiderstand, zusammengesetzt aus Kohlenstiften von verschiedenem Durchmesser, also, da die Länge und die Substanz dieselbe ist, von verschiedenem Widerstande. Durch Einschalten des einen oder des anderen Stiftes in den Stromkreis erhält man die gewünschte Helligkeit. Um zu grosse Erwärmung zu verhindern, ist der Cylinder, welcher den Apparat einschliesst, mit Oeffnungen für den Luftwechsel versehen. Die Regulirung wird durch Drehen einer Scheibe (unterhalb der Fig. 15 *B* getrennt gezeichnet) bewirkt, wodurch die Verbindung mit dem einen oder anderen Kohlenstabe hergestellt wird. Ein Zeiger an der Scheibe und eine Eintheilung am unteren Rande des Cylinders zeigen den Grad der Helligkeit der Lampe für die Einschaltung jedes Kohlenstabes an.

*) Z. B. in La lumière électrique, T. XXVI. (1887), p. 16; T. XXX. (1888), p. 109; T. XXXIII. (1889), p. 12.

Denselben Zweck suchte Stanley durch einen aus Kohlenscheiben gebildeten und in den Stromweg der Lampe geschalteten Widerstand zu erreichen. Je stärker die übereinandergelegten Scheiben mit Hilfe

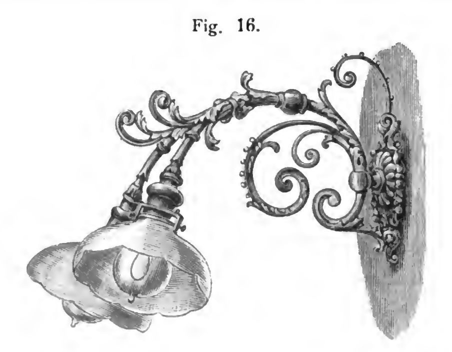
Fig. 15.



einer Druckschraube aneinander gepresst werden, desto geringer ist der Widerstand und desto heller brennt die Lampe. Durch Nachlassen der Schraube vermindert sich die Innigkeit der Berührung der einzelnen Kohlenscheiben unter einander, der Widerstand wird daher

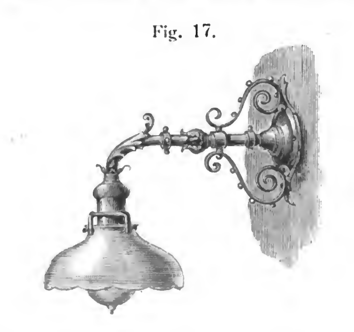
grösser und die Helligkeit der Lampe muss dementsprechend abnehmen. Roussy *) scheint mit der

Fig. 16.



Anwendung von Kohlenpulver, auf welches eine Druckschraube wirkt, bessere Resultate erreicht zu haben.

Fig. 17.

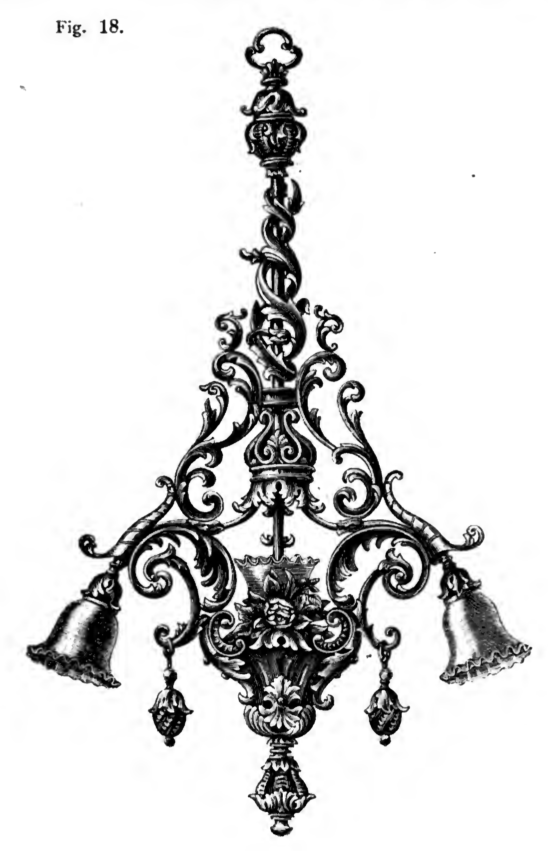


Die Figuren 16, 17 und 18 zeigen, dass sich Edison's Lampen oder überhaupt die Glühlampen zur

*) La lumière électrique, T. XIV. (1884), p. 110.

Verwendung bei mehr oder minder künstlerisch gestalteten Beleuchtungskörpern sehr gut eignen, während

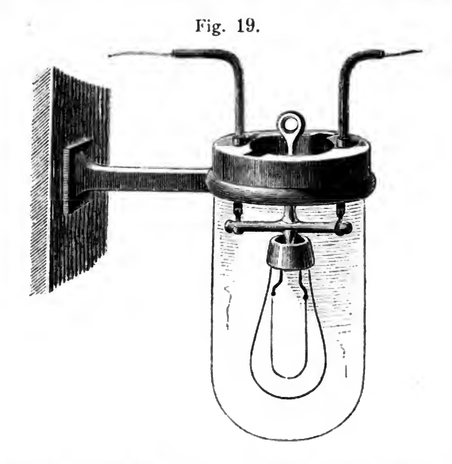
Fig. 18.



anderseits Fig. 19 eine Sicherheitslampe darstellt, wie solche in Räumen zur Anwendung gelangen, in denen Feuers- oder Explosionsgefahr ist. Die Glühlampe wird in solchen Fällen in ein mit Wasser gefülltes Glasgefäss eingeschlossen.

Die Verbindungen der Leitungsdrähte mit der Lampe sind so angeordnet, dass die Berührungspunkte

Fig. 19.

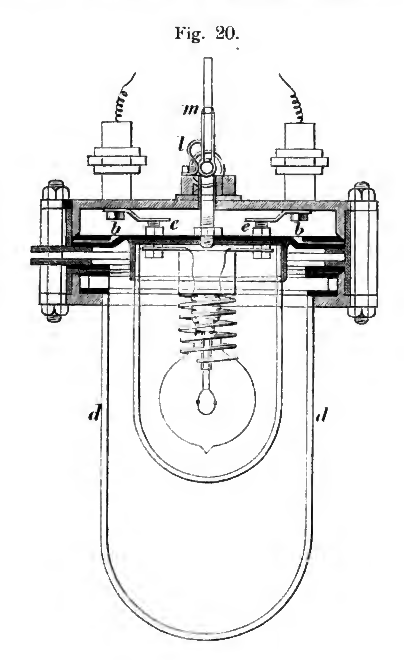


mit Wasser bedeckt sind, daher jede Gefahr einer Entzündung schlagender Wetter durch die Lampe ausgeschlossen erscheint.

Allerdings kann aber die zweite Gefahr der schlagenden Wetter, die der Erstickung, hiermit nicht beseitigt werden, ja diese wird im Gegentheile durch Anwendung der beschriebenen oder ähnlicher Lampen erhöht, da derlei Lampen die Bildung schlagender

Wetter nicht anzeigen können, wie dies die gewöhnlichen Grubenlampen durch düsteres Brennen thun. Bei der Davy'schen Sicherheitslampe explodirt bekannt-

Fig. 20.



lich das Gasgemenge, wenn es bereits die richtige Mischung hat, nur innerhalb des Drahtgeflechtes der Lampe, wobei deren Flamme erlischt.

Bei der Sicherheitslampe von Settle (Fig. 20) ist die Glühlampe gleichfalls von einem Glassturze *d* um-

schlossen, der mit Wasser (oder wohl auch mit Kohlendioxyd, sogenannter Kohlensäure unter Druck) gefüllt wird. Durch diese Füllung wird auf die Membrane *b* ein Druck ausgeübt, derart, dass die Contacte *b e* der Lampe geschlossen werden. Sinkt aber dieser Druck (etwa infolge einer Beschädigung des Schutzglases), so weicht die Membrane zurück, unterbricht die Contacte und somit auch den Strom; gleichzeitig dringt auch das Ende der Feder *l* bei *m* ein und legt dadurch die Membrane in ihrer Bruch- (oder zurückgewichenen) Stellung fest.

Glühlampe von Swan.

Bei dieser Glühlampe (Fig. 21) sind die als Träger für die Kohle dienenden Platindrähte von einander isolirt in ein mit dem unteren Ende des Glasgefässes verschmolzenes Glassäulchen mit grosser Sorgfalt eingeschmolzen und endigen nach aussen in zwei Platinschlingen. Der Anschlusstheil, zum Befestigen der Lampe an den Beleuchtungskörper, besteht aus einem Stück Hartgummi, welches unten ein Gasgewinde trägt, so dass es in jedem Gasarm, nach Herausnehmen des Brenners, eingeschraubt werden kann. In der oberen Fläche dieses Ansatzstückes sind zwei Platinhäkchen angebracht, die mit je einer der seitlichen Klemmschrauben, in welche die stromzuleitenden Drähte eingeklemmt werden, in leitender Verbindung stehen. Beim Einhängen der Lampe in die Häkchen des Ansatzstückes sorgt eine Spiralfeder für den guten Contact mit den Platinschlingen.

Einer ähnlichen Verbindungsweise bedienen sich auch Holmes & Cie. (Fig. 22 und 23). Die Lampe

wird in zwei Häkchen gehängt, die mit den Klemmschrauben des Anschlusstheiles leitend verbunden sind.

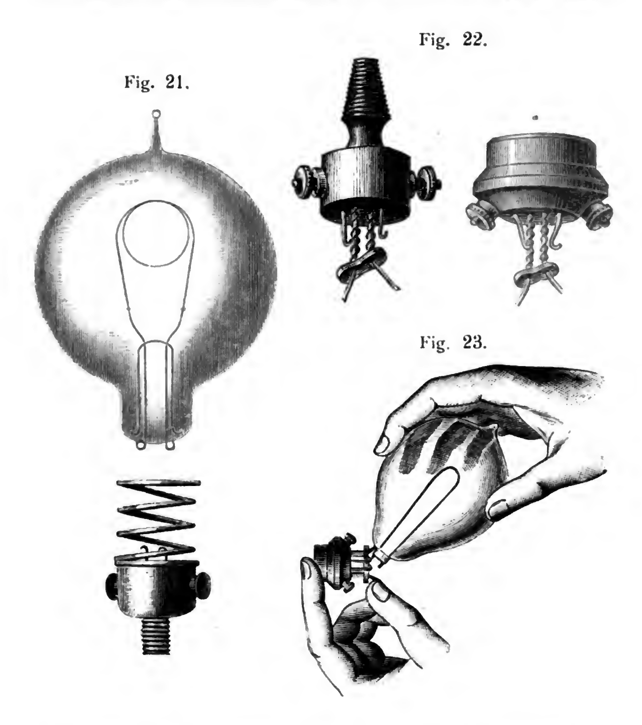


Fig. 21.

Fig. 22.

Fig. 23.

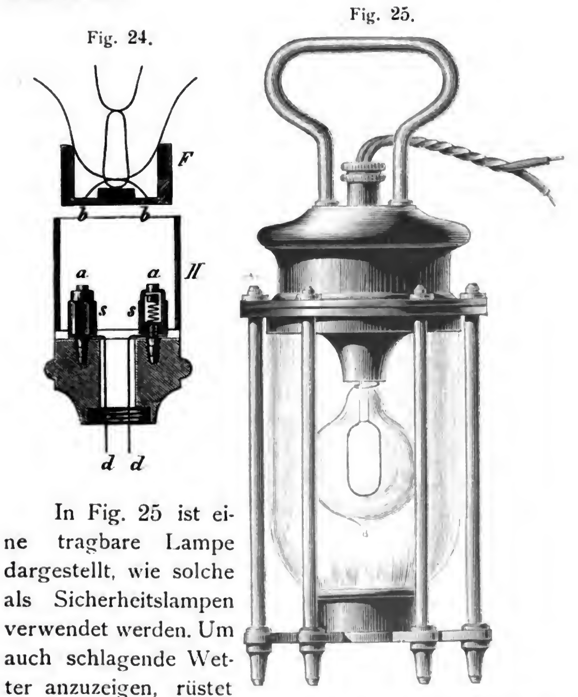
Die metallische innige Berührung der Häkchen mit den Platinösen der Lampe sichert ein Plättchen, welches durch Spiralfedern gegen die Grundfläche der Lampe gedrückt wird.

Der beiläufig 10 *cm* lange, in der Form einer einfachen Schlinge gewundene Kohlenbügel der Swan-Lampe wird aus Baumwollfasern bereitet. Diese werden in Schwefelsäure (zwei Theile auf einen Theil Wasser) getaucht und einige Zeit darin hängen gelassen. Dadurch erleiden sie jene Veränderung, die auch das Papier bei gleicher Behandlung erfährt, welches auf diese Art bekanntlich in künstliches Pergament verwandelt wird. Der Faden wird also zäh und consistent. Dann setzt man ihn in der Form, welche der Kohlenbügel später haben soll, in einen Schmelztiegel, füllt diesen ganz mit feinem Kohlenstaub und erhitzt das Ganze bei hermetischem Verschlusse des Tiegels längere Zeit bis zur Weissgluth. Die Verbindung der Kohlenenden mit den Platindrähten wird bewerkstelligt, indem man den Kohlenbügel mit den Drähten zusammenlegt und an den Berührungsstellen durch Ueberwinden mit Baumwollfäden befestigt. Letztere machen dann den ganzen eben angegebenen Process der Verkohlung mit.

Nach einem neueren Modelle bewirkt Swan die Verbindung der Platindrähte mit den Leitungsdrähten in der durch die Fig. 24 dargestellten Weise. Die Lampe ist mit einer einfachen Fassung *F* versehen, in deren Boden die beiden mit den Platindrähten verbundenen Metallblättchen *b b* isolirt eingesetzt sind. Führt man die Lampe mit ihrer Fassung in die Hülse *H* ein und setzt sie in dieser durch einen Bajonnetverschluss fest, so stemmen sich die beiden Metallpistons *a a* gegen die Metallblättchen *b b*, da sie durch Spiralfedern in den hohlen Schraubenköpfchen *s s* nach oben gedrückt werden, und stellen dadurch die

Verbindung der Leitungsdrähte *dd* mit den Platindrähten her.

Fig. 24. Fig. 25.



In Fig. 25 ist eine tragbare Lampe dargestellt, wie solche als Sicherheitslampen verwendet werden. Um auch schlagende Wetter anzuzeigen, rüstet Swan seine Grubenlampe mit einer eigenen elektrischen Anzeigevorrichtung aus, deren Beschreibung jedoch nicht hierher gehört.*)

*) Sicherheitslampen z. B.: La lumière électrique, T. IX. (1883), p. 125; T. XI. (1884), p. 70; T. XIV. (1884), p. 304, 457;

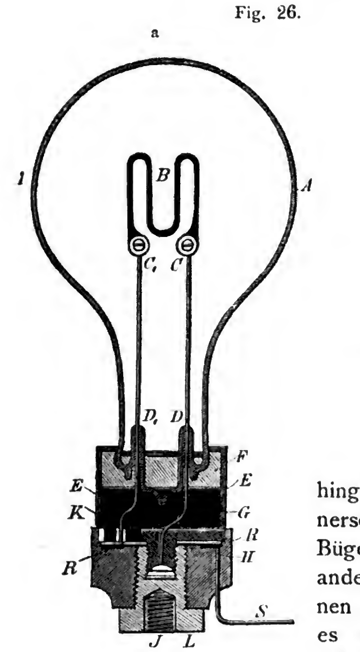
Glühlichtlampen von Maxim und Weston.

In einer Glasbirne A (Fig. 26 a) ist der in Gestalt eines M geformte Leiter B aus Kohlenstoff eingesetzt. Er wird getragen von den beiden Platindrähten $C\ D$ und $C_1\ D_1$, die bei $D\ D_1$ in das Glas eingeschmolzen sind. Die Glasröhrchen $D\ D_1$ sind konisch, so dass zwischen ihren Innenwänden und den Drähten haarfeine Zwischenräume bleiben. Die Kohle B läuft an ihren unteren Enden in plattenförmige Verbreiterungen aus, und die gleiche Form haben die Platindrähte bei $C\,C_1$. Die Befestigungsart der Kohle an den Drähten zeigt Fig. 26 b, welche eine Seitenansicht darstellt. An den Draht ist ein durchbohrtes Plättchen b mit Gold angelöthet, darauf kommt ein Scheibchen s aus weicher Kohle, dann der Kohlenbügel B, darauf wieder ein Kohlenscheibchen s_1, und zum Abschluss ein durchbohrtes Platinblättchen b_1. Alle diese Theile werden durch die Schraube $o\ t$ zusammengehalten. Die Kohlenscheibchen $s\ s_1$ haben den Zweck, einerseits einen guten Contact herzustellen und anderseits eine feste Verbindung zu ermöglichen. Würde der Kohlenbügel direct an die Platinblättchen angeschraubt werden, so würden diese beiden Bedingungen nicht erfüllt, denn bei festem Anziehen der Schrauben würden die Enden des Kohlenbügels, der ja spröde und hart ist, zerbrechen, und liesse man die Schrauben weniger fest, so wäre der Contact schlecht; der Strom würde dann bei seinem Uebergange aus den Drähten grossen Widerstand finden, an den

T. XXX. (1888), p. 136; T. XXXI. (1889), p. 280. Elektrotechn. Zeitschr., X. (1889), S. 78. u. s. w.

Berührungsstellen Platin und Kohle glühend machen, ersteres schmelzen, und in kurzer Zeit wäre die Verbindung ganz zerstört. Das weiche Kohlenblättchen

Fig. 26.





hingegen verhindert einerseits das Brechen des Bügels und vermittelt anderseits dadurch einen guten Contact, dass es die kleinen Zwischenräume zwischen dem Platinscheibchen und der Verbreitung des Kohlenbügels vollkommen ausfüllt.

Die Glasbirne ist in eine Metallfassung *E* (Fig. 26 a) mit Gyps *F* eingekittet. Dieser zieht sich auch in die

capillaren Räume der Röhrchen $D\ D_1$ hinein und dient hierdurch zur Vervollkommnung des Lampenverschlusses. Man hat früher lange mit der undichten Einschmelzung der Drähte in das Glas zu kämpfen gehabt, da infolge der ungleichen Ausdehnung von Glas und Platin (bei Temperaturveränderungen) im Glase häufig feine Risse entstanden sind, durch welche dann Luft einströmen konnte. Die Differenz der Ausdehnung ist weniger schädlich, wenn der eingeschmolzene Draht sehr dünn ist, weshalb Maxim für die Einschmelzung der Drähte auch die in Fig. 27 dargestellte Methode zur Anwendung bringt. Wie aus dieser Figur zu ersehen, sind in die Glasröhrchen $D\ D_1$ nicht Drähte von der vollen für die Stromzuleitung erforderlichen Stärke eingeschmolzen, sondern bedeutend schwächere, aber dafür in grösserer Anzahl — in der Abbildung 4 für jeden Draht; hierbei ist jede dieser vier Drahtfasern getrennt von den übrigen in das Glas eingeschmolzen. Die Vereinigung derselben innerhalb der Birne zu je einer den Kohlenbügel aufnehmenden Pincette und ausserhalb zu je einer Zuleitung erfolgt erst beim Austritte der Drahtfasern aus der Einschmelzstelle.

Die Basis H der Lampe (Fig. 26 a) ist aus Vulcanit oder einem anderen Isolator verfertigt und an einen Metallkern L geschraubt; ein Gewinde J in letzterem dient zur Befestigung der Lampe an beliebiger Stelle. Der Platindraht C geht bis zum Metallkern, während C_1 in einen Metallpfropfen K endet, welcher von der Basis isolirt ist. R ist ein in die Basis H eingefügter Metallring, dessen obere Fläche direct unter dem Pfropfen K liegt, so dass dieser einen Contact mit dem Ringe

bildet, wenn die Basis herabgeschraubt ist. Die von C_1 gebildete Leitung wird dann durch den Draht S, der an den Ring R angelöthet ist, nach aussen geführt. C ist durch das Metallstück L mit einer zweiten Leitung, oder wenn die Lampen auf Gasleitungsröhren aufgesetzt werden, mit diesen in leitender Verbindung.

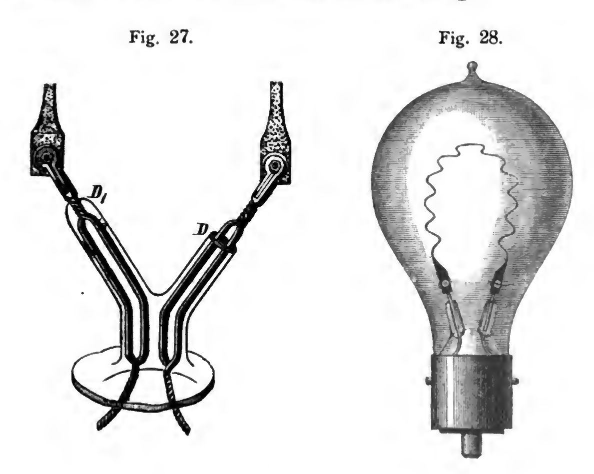


Fig. 27. Fig. 28.

Während Edison Werth auf die Faserstructur der Kohle legt und daher auch seine Bambusfaser beibehält, strebte hingegen Maxim darnach, eine möglichst structurlose homogene Kohle zu erhalten. Aus diesem Grunde benützte er auch Bristolpapier und unterwarf die Kohle desselben überdies noch einem Carbonisirungsprocesse. Dieses Streben fand durch **Weston**, der bis zum Jahre 1881, als Maxim sich der Erzeugung von

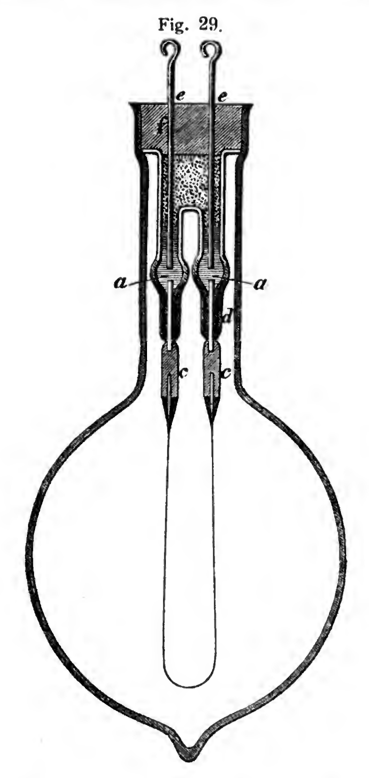
Handfeuerwaffen zuwandte, mit diesem gemeinschaftlich gearbeitet hatte, noch eine weitere Förderung, welche aus nachstehend beschriebenem Verfahren zu ersehen ist: Weston verwandelt nämlich die Cellulose der Baumwoll- oder Leinenfaser durch Behandlung mit Salpeter- und Schwefelsäure in Nitrocellulose (Schiessbaumwolle) und dann durch Auflösen der letzteren in Aether und Alkohol in Collodium. Aus diesem werden dann 0·1 *mm* dicke Platten gebildet und diese, um sie ihrer vollständigen Verbrennbarkeit zu berauben, mit einer reducirenden Verbindung (Ammonium-Hydrosulfit) behandelt. Das so erhaltene Tamidin, wie es Weston nennt, ist ein vollkommen structurloser Körper von bernsteinartiger Farbe, der grosse Dehnbarkeit und Zähigkeit besitzt. Die darauf folgenden Processe bestehen im Auswalzen des Tamidins, Ausstanzen der Bügel, deren Form aus Fig. 28 zu ersehen ist, und Verkohlen bei sehr hoher Temperatur. Der so erhaltene Kohlenbügel ist glatt, glänzend schwarz und elastisch wie eine Stahlfeder.

Glühlampe von Lane-Fox.

Die Kohle dieser Lampe wird aus Birkenfasern oder aus den Fasern des Quecken- (oder Hunds-) Grases hergestellt, indem man die Fasern zunächst mit Aetzkali behandelt und dann in Gussformen zur Weissgluth erhitzt; hierbei erhalten sie auch die Hufeisenform. Um die so erhaltene Kohle gleichförmiger und fester zu machen, wird sie carbonisirt, indem man den Bügel in einer Benzin-Atmosphäre durch den elektrischen Strom zum Glühen erhitzt.

Besonders bemerkenswerth ist bei der Lampe von Lane-Fox die umständliche Art, in welcher der

Fig. 29.



Kohlenbügel mit den Zuleitungsdrähten verbunden wird. Die Enden des Kohlenbügels sind zunächst in Blei-

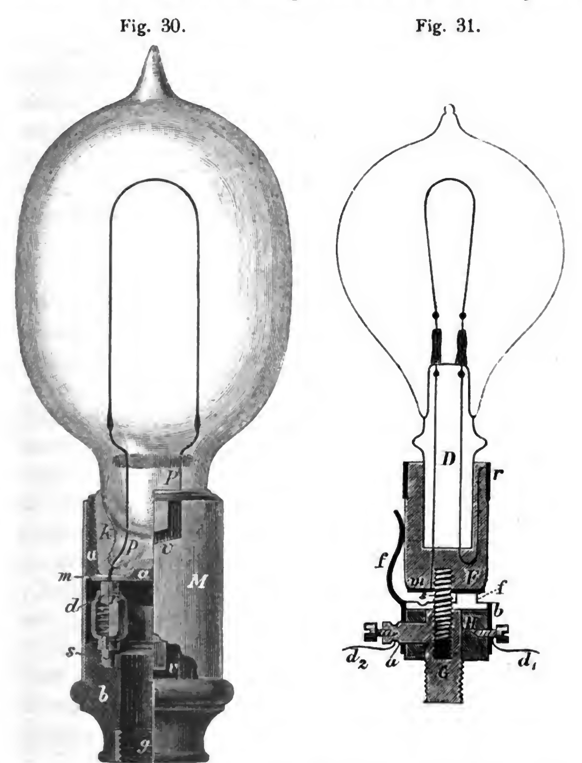
cylinder *c c* (Fig. 29) gesteckt und in diese mit chinesischer Tusche eingekittet. Die Bleicylinder sitzen mit ihren anderen Enden auf zwei Platindrähten, die in die zwei röhrenartigen Ansätze eines Glasgefässes bei *d* eingeschmolzen sind. Diese Röhren sind bei *a* kugelförmig erweitert und mit Quecksilber gefüllt, in welches einerseits die früher erwähnten Platindrähte, anderseits die Zuleitungsdrähte *e e* tauchen.. Oberhalb des Quecksilbers kommt stark gepresste Watte und den letzten Abschluss bildet der Gypspfropf *f*.

Glühlampe von Woodhouse & Rawson.

Bei der Lampe von Woodhouse & Rawson sind die Platindrähte *p p* (Fig. 30), welche den Kohlenbügel tragen, derart in die Glasbirne eingeschmolzen dass man das untere Ende des Glashalses mit einer Flachzange zusammendrückt, wodurch das Halsende durch eine Art Kamm abgeschlossen erscheint. Wird hierdurch einerseits der Platindraht auf eine verhältnissmässig lange Strecke mit Glas umschmolzen, also eine luftdichte Einführung möglichst gesichert, so erleichtert anderseits der Glaskamm eine solide Verbindung der Lampe mit der Fassung; ein Drehen der Lampe in der Fassung ist hier ausgeschlossen. Die Lampe ist mit ihrem Halse in ein cylindrisches Stück »Vitrit« *a* (schwarz gefärbter Glasfluss), in welchem man einen entsprechend geformten Hohlraum ausgespart hat, durch einen Kitt *k* befestigt. An der unteren Fläche des Vitritstückes sind an zwei einander diametral gegenüberliegenden Stellen Messingplättchen *m* eingesetzt, in deren centralen Bohrungen die Platindrähte enden

und metallisch verbunden sind. In einem zweiten Vitritstücke *b* sind bei *s* Messingschräubchen und bei *g* ein

Fig. 30. Fig. 31.



Glasgewinde aus demselben Materiale eingesetzt. Die Messingschräubchen *s* sind quer durchbohrt oder ge-

spalten und dienen zum Einführen der Leitungsdrähte, welche durch die centrale Höhlung des Vitritstückes *b* gesteckt werden. In den zu *s* gehörigen Schraubenmuttern *r* befinden sich kleine Spiralfedern, welche die Messingcylinder *d* aus den Schraubenmuttern hinausdrücken und gegen die Metallplättchen *m* des oberen Vitritstückes *a* pressen, wodurch die metallische Verbindung der Platindrähte mit den Leitungen hergestellt wird. Die Verbindung der beiden Vitritstücke untereinander besorgt die Messinghülse *M* mit Hilfe der beiden Bajonnetverschlüsse *oo*.

Glühlampe von Greiner & Friedrichs.

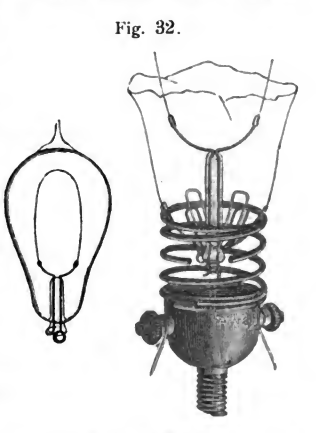
Der Kohlenbügel dieser Lampe wird der Patentanmeldung zufolge aus Theer hergestellt. Der Halter *H* (Fig. 31) ist mit einem Glasgewinde *G* versehen, welches theilweise hohl ist und einen seitlichen Ansatz *a* trägt, in welchem der eine Zuleitungsdraht d_2 eingeklemmt wird. In die Bohrung ist eine Schraubenmutter eingeschnitten, in welche die Schraube *s* passt, die zur Befestigung des Lampenfusses *F* auf dem Halter *H* dient. Von den Lampendrähten *D* ist einer mit der Metallscheibe *m*, der andere mit dem Metallringe *r* verbunden. Der Halter trägt gleichfalls einen Metallring *b*, mit welchem drei Federn *f* und die Klemmschraube für den zweiten Zuleitungsdraht d_1 verbunden sind. Wird die Lampe auf ihren Halter aufgeschraubt, so kommt daher der eine Lampendraht durch die Metallplatte *m*, die Schraube *s* und den Ansatz *a* mit der Klemmschraube für die Zuleitung d_2 in metallische Verbindung, während der andere durch den Ring *r*, die Federn *f*

und den Ring *b* mit der Klemme für den anderen Zuleitungsdraht d_1 leitend verbunden wird.

Glühlampe von Cruto.

Diese Lampe unterscheidet sich wesentlich von den bisher beschriebenen, indem Cruto den Kohlenbügel in der Art erzeugt, dass er einen feinen Platindraht durch den elektrischen Strom in der Atmosphäre eines Kohlenwasserstoffes zur Rothgluth erhitzt. Hierdurch wird der Kohlenwasserstoff zersetzt und die Kohle scheidet sich auf dem Platindrahte aus; man verflüchtigt hierauf das Platin durch Steigerung der Stromintensität und erhält auf diese Weise einen hohlen Kohlenfaden. Bei dem ursprünglichen Modelle wurde der sehr feine Platindraht in Gestalt einer ∩-förmig gebogenen Spirale benützt, während bei dem neuen Modelle die einfache Hufeisenform zur Verwendung kommt. Die Montirung der Lampe und die Art des Anschlusses an die Stromleitung ist aus Fig. 32 leicht zu ersehen. Die beiden aus der Lampe kommenden Drähte sind zu Ringen umgebogen, von welchen einer mit einer Reihe von Drahtschlingen in Verbindung steht, die den Glaskörper der Lampe an der Basis

Fig. 32.



umfassen, während der andere in ein Häkchen des Anschlusstheiles wie bei der Swan'schen Lampe eingehängt wird. Es werden Lampen zu 4, 8 und 16 Kerzen mit einem Kohlenbügel und Lampen mit zwei Kohlenbügeln, welche man auf Quantität oder auf Spannung schalten kann, verfertigt.

Röhrenförmige Kohlen verwenden auch noch Bernstein*) und ebenso Bonne & St. George.**) Hingegen hat sich Cruto in jüngster Zeit auch ein Verfahren zur Herstellung gewöhnlicher massiver Kohlenfäden patentiren lassen.**)

Glühlampe von Diehl.

Diehl wurde bei der Construction seiner Lampe von der Absicht geleitet, Undichtigkeiten an den Einschmelzungsstellen der Drähte in der Glaswand ganz zu umgehen, was er dadurch erreichte, dass er überhaupt gar keine Drähte durch die Glaswand hindurchführt.

Die Lampe besteht aus einer Glasbirne L (Fig. 33), welche nach unten durch einen Hohlcylinder verlängert ist. In diesen sind einige Lagen feinen Drahtes S aufgewunden, dessen Enden mit dem Kohlenbügel F in Verbindung stehen, also mit diesem einen in sich geschlossenen, den secundären Stromkreis der Lampe darstellen. Der primäre Stromkreis P dieses Inductionsapparates (denn einen solchen bildet die ganze Lampe) ist in der Fassung E der Lampe untergebracht.

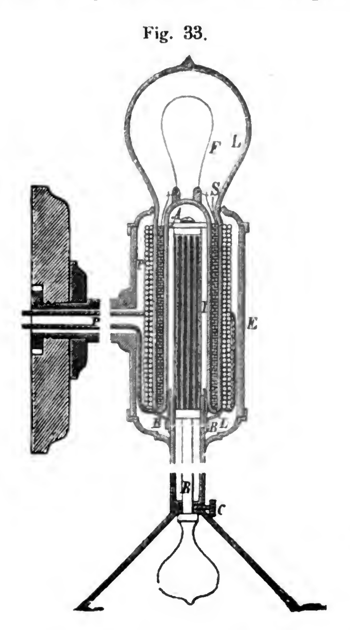
---

*) Z. B. in: Elektrotechn. Zeitschr., X. (1889), S. 212. Zeitschr. für Elektrotechnik, VII. (1889), S. 232. La lumière électrique. T. XXXII, (1889), p. 129. Electrical Review, XXII. (1889), p. 135.

**) La lumière électrique. T. XXX. (1888), p. 129.

Da durch den primären Strom (in P) allein nur schwache Inductionsströme in S hervorgerufen würden, so ist in dem Hohlraume des Glascylinders noch ein Eisenkern I und zwar derart angeordnet, dass dieser gleichzeitig als

Fig. 33.



Regulator für die Lichtstärke der Lampe dienen kann. Man hat zu diesem Behufe nur den Eisenkern mit Hilfe des Stabes R, der durch Anziehen der Schraube C arretirt werden kann, mehr oder weniger weit in den Glascylinder hineinzuschieben, wodurch bekanntlich die

Inductionswirkung verstärkt oder abgeschwächt wird. In der tiefsten Stellung des Eisenkernes legt sich eine Metallscheibe *A* gegen die Contactfedern *B B*, welche von einander isolirt, aber mit dem primären Stromkreise verbunden sind, und stellt dadurch einen kurzen Schluss her, so dass also die Lampe ausgeschaltet erscheint, indem nunmehr der Strom von der einen Feder *B* durch die Metallscheibe *A* zur zweiten Feder *B* und weiter durch die Leitung zufliesst.

* * *

Es wurde bereits oben (S. 57) erwähnt, dass auch das elektrische Glühen von Kohle in freier Luft, wobei also die Kohle verbrennen muss, als Princip zur Construction von Glühlampen gedient hat. Es sind dies Glühlampen, die unter den Namen Contact-Glühlampen, Halbglühlampen oder Halbincandescenzlampen mehr oder minder bekannt geworden sind, aber, wenigstens bis heute, keine irgendwie nennenswerthe praktische Bedeutung erlangt haben. Der Grund hiervon liegt nicht so sehr in Mängeln technischer Art als vielmehr darin, dass der Kraftaufwand im Verhältnisse zur Lichterzeugung ein viel zu bedeutender ist, dass also diese Lampen unwirthschaftlich arbeiten. Da aber anderseits die Versuche, Lampen dieser Art für praktische Zwecke geeignet zu machen, durchaus nicht vollkommen aufgegeben worden sind, so mögen nachstehend immerhin einige dieser Lampen beispielsweise beschrieben werden.

Bei den Halbglühlampen entsteht also das Licht an der Berührungsstelle zweier Elektroden in freier Luft.

Werdermann hat durch zahlreiche Versuche festgestellt, dass, wenn man den Querschnitt der positiven Kohle verkleinert und den der negativen gleichzeitig vergrössert, letztere immer schwächer glüht, während erstere zu immer stärkerer Gluth gelangt. Durch die Ungleichheit der Querschnitte wird der Widerstand, welchen der Strom an der Berührungsstelle beider Kohlen findet, vergrössert und daher nimmt auch die Erhitzung zu. Bei einem beiläufigen Verhältnisse von 1:64 des Querschnittes der positiven zum Querschnitte der negativen Kohle erhitzt sich diese fast gar nicht, erleidet daher auch keine Abnahme, während die positive Kohle unter Entwicklung eines schönen ruhigen Lichtes stetig abbrennt.

Der Erste, welcher eine Halbglühlampe erfand, ist nach Fontaine's*) Angabe Varley; dieser beschrieb sie in einem Patente auf eine elektrische Maschine, das er im Jahre 1876 nahm. Die im Jahre 1878 von Reynier, Marcus und Werdermann erdachten Lampen waren jedoch die ersten, welche regelmässig functionirten.

Glühlampen von Reynier.

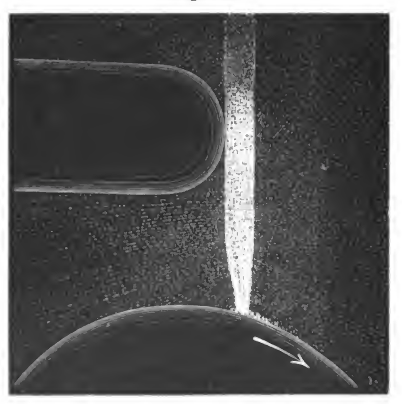
Das Princip dieser Lampen charakterisirt du Moncel in einer Mittheilung an die Pariser Akademie mit folgenden Worten:

»Wenn ein dünnes Kohlenstäbchen (Fig. 34), auf welches seitlich ein elastischer Contact drückt, und welches in der Richtung seiner Axe gegen einen festen

*) Die elektrische Beleuchtung. Deutsch von F. Ross. II. Aufl. (1880), S. 253.

Contact gedrückt wird, zwischen diesen beiden Contacten von einem genügend kräftigen elektrischen Strom durchflossen wird, so kommt diese Partie zum Weissglühen und verbrennt, während sich das Ende zuspitzt. Im Maasse, wie die Abnützung des Endes stattfindet, wird durch den ständig darauf wirkenden Druck das Kohlen-

Fig. 34.



stäbchen weiter vorgeschoben, indem es durch den elastischen Contact gleitet und dabei immer auf dem fixen Contacte aufruht. Die infolge des Durchganges des Stromes im Kohlenstäbchen hervorgerufene Wärme wird durch die gleichzeitige Verbrennung des Kohlenstoffes wesentlich erhöht.«

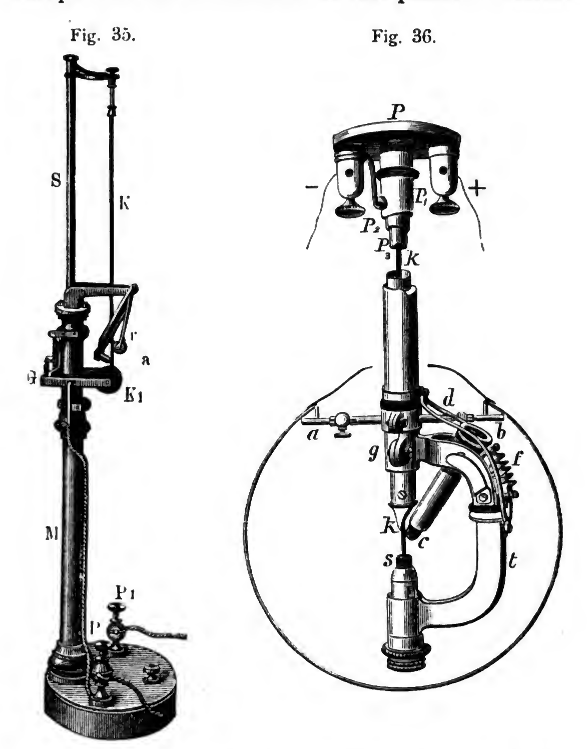
Die praktische Ausführung bestand anfangs darin, dass Reynier einen dünnen Kohlenstab senkrecht auf ein Kohlenklötzchen stellte und ersteren mit einem seit-

lichen Contacte versah. Das Stäbchen bildete bei dieser Anordnung den positiven, das Klötzchen den negativen Pol. Diese Lampe wurde aber bald aufgegeben, da sich beim Brennen derselben der Uebelstand herausstellte, dass die Unreinigkeiten (mineralische Bestandtheile) des Kohlenstäbchens sich als Asche auf dem Klötzchen ansammelten und dann den guten Contact beeinträchtigten. Reynier setzte daher an Stelle des Kohlenklötzchens eine drehbare Kohlenscheibe und liess den dünnen Kohlenstab seitlich von der Umdrehungsaxe der Scheibe auf diese auftreffen. Der seitliche Druck, welchen in solcher Art der Kohlenstab im Vereine mit seinem Träger auf den Umfang der Kohlenscheibe ausübt, versetzt letztere in eine langsame Umdrehung und bringt in dieser Weise immer neue Stellen der Scheibe mit dem Stabe zum Contact.

Die Construction dieser Lampe ist in Fig. 35 dargestellt. Eine Messingstange S als Träger des positiven Kohlenstabes K kann zwischen Gleitrollen in der Messingsäule M herabsinken. Die negative Kohle ist die kreisförmige Kohlenscheibe K_1, deren Axe sich in einer auf der Säule isolirt befestigten Gabel G drehen kann; diese ruht (mit ihrem Ende bei G) auf einem Hebel, welcher auf die Messingstange drückt, um als Bremse ein zu rasches Nachsinken der positiven Kohle zu verhindern. Die Führung des Kohlenstabes K wird durch eine Kupferrolle r besorgt, welche an einem Winkelarme drehbar ist; die Stromzuleitung erfolgt durch einen am selben Arme befestigten Kohlenklotz a, der durch seine eigene Schwere immer mit der Elektrode in leitender Berührung erhalten wird. Der Strom tritt

bei der Klemme P_1, ein, geht durch die Masse der Lampe und den Kohlenklotz in den positiven Kohlen-

Fig. 35. Fig. 36.



stab, dann in die negative Kohlenscheibe, durch deren von der Lampe isolirten Träger und die Drahtleitung zur Klemme P.

Die Kohlenstäbe haben einen Durchmesser von 2 *mm*, eine Länge von 0·3 *m* und dauern zwei Stunden. Die Lichtstärke variirt nach der Anzahl der Lampen, die in den Stromkreis einer Maschine eingeschaltet werden. So ergab sich dieselbe zu 13 Carcelbrennern, als 6 Lampen in den Stromkreis einer Gramme'schen Maschine eingeschaltet wurden, welche 920 Touren pro Minute machte.

Die gesammte Lichtintensität betrug also 78 Carcelbrenner, während beispielsweise ein Serrin'scher Regulator unter denselben Umständen 320 Carcelbrenner Lichtstärke ergab.

Ein zur praktischen Anwendung geeigneteres Modell dieser Lampe ist in Fig. 36 abgebildet. Auf einer Metallplatte P sind zwei in einander gesteckte Röhren befestigt, von welchen die eine P_1 von der Grundplatte (durch den schwarzen Ring) isolirt ist, während die andere, innere Röhre P_2 mit der Grundplatte und durch diese mit der positiven Polklemme + in leitender Verbindung steht. Die äussere Röhre P_1 ist mit der isolirten Polklemme — durch einen Draht verbunden. Beide Röhren sind von einander isolirt. Die Gabel g, welche den Contactstift c trägt, ist an der inneren Röhre P_2 befestigt; der Contactstift selbst besteht aus einem in einer Messingröhre gefassten Graphitstück und wird durch die Feder f gegen den Kohlenstab k angedrückt. Von der Gabel isolirt ist am unteren Ende derselben der Träger t für den — Pol angebracht, der, wie der Contactstift c, gleichfalls aus einem in Messing gefassten Graphitstück s besteht. Die Messingfassung ist durch Bajonnetverschluss an den Träger t befestigt. Das Graphit-

stück *s* steht durch den Träger *t* und den gabelförmigen Draht *d* mit der äusseren Röhre P_1 in leitender Verbindung. Der Kohlenstab *k* wird durch das Cylindergewicht P_3 stets gegen das Graphitstück *s* angedrückt. Die Arme *a* und *b* dienen als Träger für die Glaskugel.

Der Stromgang in der Lampe ist hiernach folgender: Der Strom tritt bei der Klemme + ein, geht durch die Grundplatte *P* in die innere Röhre P_2, durch diese und den Contactstift *c* zum Kohlenstäbchen *k*; hier erzeugt er infolge des unvollkommenen Contactes mit *s* das Glühlicht, geht dann durch den Träger *t*, den Draht *d* und die äussere Röhre P_1 zur negativen Polklemme —.

Der Durchmesser der bei dieser Lampe in Gebrauch stehenden Kohlenstäbe beträgt 2·5 *mm* bei 1 *m* Länge; die Brenndauer ist ungefähr sechs Stunden. Die Länge des glühenden Theiles kann von 4—8 *mm* variirt werden, und das erzeugte Licht entspricht 5—20 Carcelbrennern. Mit 8 grossplattigen Elementen nach Bunsen erzeugt man ein Licht von beiläufig 12 Carcelbrennern. Wird die Lampe mit Strömen einer elektrischen Maschine betrieben, so gibt sie 30—40 Carcelbrenner per *HP*. Das Einsetzen eines neuen Kohlenstabes erfolgt einfach in der Weise, dass der Bajonnetverschluss des negativen Kohlenträgers gelöst wird, worauf durch die nun leere Röhrenfassung der Stab von unten eingeschoben werden kann. Die Einschaltung mehrerer derartiger Lampen in einen Stromkreis ist ohne Schwierigkeit ausführbar. (Siehe Capitel: Specielle Leitungen und Schaltungsweisen im Bande XI dieser Bibliothek über

praktische Ausführung elektrischer Beleuchtungs-Anlagen.)

Von dem Bestreben geleitet, das schlechte Güteverhältniss der Halbglühlampen zu verbessern, hat Reynier noch mancherlei Lampenformen ersonnen, aber allerdings auch mit diesen noch keinen praktischen Erfolg erzielt; es genügt daher wohl nur eine dieser Formen nachstehend zu beschreiben.

Das Princip dieser Lampe besteht darin, dass man zwei Kohlenstäbchen mit ihren zugespitzten Enden unter einem sehr spitzen Winkel zusammenstossen lässt (Fig. 37) und ihr Herabsinken durch zwei entgegengestellte Metallstücke begrenzt. Diese Metallstücke bilden gleichzeitig die Stromzuführung und nöthigen den Strom, von einem dieser Contactstücke in das eine Kohlenstäbchen einzutreten, von diesem in das zweite überzugehen und dann durch das zweite Contactstück die Lampe zu verlassen. Man erreicht dadurch das Erglühen der Kohlenstäbchen von ihren Berührungsstellen mit den Contactstücken an bis zur Stelle ihrer gegenseitigen Berührung.

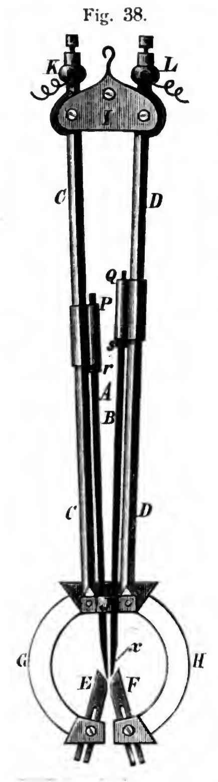
Fig. 37.



Hiernach sind Construction und Function dieser in Fig. 38 abgebildeten Lampe leicht zu verstehen. Es bedeuten hierbei A und B die beiden im spitzen Winkel sich berührenden Kohlenstäbchen und E und F die beiden Contactstücke aus Kupfer, welche in dem Lampengestelle GH befestigt sind; die Theile PQ desselben dienen als Führungen für die beiden Kohlenstäbe, welche

unter Vermittlung der Hülsen *r s* dem Abbrande entsprechend herabgleiten können. Die beiden Hälften des

Fig. 38.



Lampengestelles sind oben durch ein hölzernes Querstück *I* und unten durch ein solches aus Schiefer *J*, also an beiden Stellen durch isolirende Zwischenstücke mit einander verbunden. Die Polklemmen befinden sich bei *K L* und somit muss der Strom, z. B. bei *K* eintretend, über *C P r* in das Kohlenstäbchen *A*, von diesem zum Kohlenstäbchen *B* und dann über *s Q D* zur Klemme *L* fliessen.

Glühlampe von Pieper.

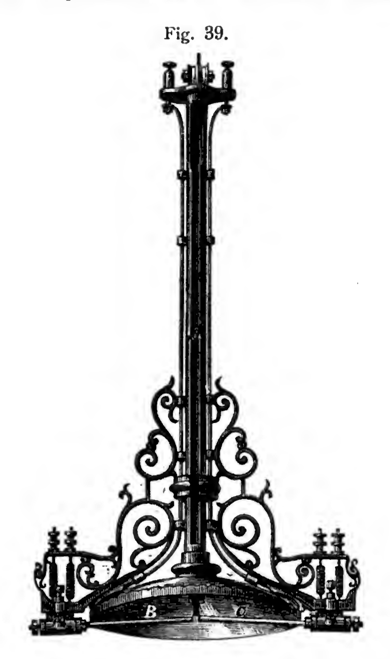
Eine Halbglühlampe ähnlicher Art, welche sich durch verhältnissmässig geringen Kraftverbrauch auszeichnen soll, wurde in jüngster Zeit von Pieper construirt.*)

Die Hauptbestandtheile dieser Lampe sind die beiden Kupferstäbe *B* und *C* (Fig. 39), welche in der Mitte durch einen Zwischenraum von einigen *mm* von einander getrennt sind, und

*) Revue internationale de l'électricité et de ses applications. T. IX. (1889), p. 268.

ein geriffelter Kohlenstift, welcher in der mit einem Spalt versehenen Röhre *A* senkrecht herabgleiten kann. Am untern Ende berührt die Kohlenspitze die beiden Enden der Kupferstäbe und überbrückt dadurch den

Fig. 39.



Zwischenraum zwischen diesen. Die beiden Kupferstäbe sind an ihren äusseren Enden mit Gelenken versehen und stehen mit Federn in Verbindung, welche sie nach oben zu ziehen streben, während sie durch den Druck

des Kohlenstiftes in ihrer wagrechten Lage festgehalten werden.

Der durch den Stab *B* eintretende Strom geht durch die Kohlenspitze zum Stabe *C* über, und da der Widerstand an den Berührungsstellen zwischen dem Kupfer und der Kohle verhältnissmässig gross ist, so bringt die entwickelte Wärme die Kohle zum Weissglühen. Der Kohlenstift sinkt, dem Abbrennen entsprechend, durch sein eigenes Gewicht herab. Ist er ganz verbraucht, so gehen die Kupferstäbe infolge der Federkraft in die Höhe und schliessen den Strom durch das Lampengestelle. Dies tritt auch dann ein, wenn der Kohlenstift in der Röhre stecken bleibt oder wenn er zerbricht. Diese Lampen eignen sich daher zur Reihen- (Hintereinander-) Schaltung, da das Erlöschen einer Lampe den Betrieb der übrigen nicht stört. Die Kupferstäbe sollen sich nahezu gar nicht abnützen.

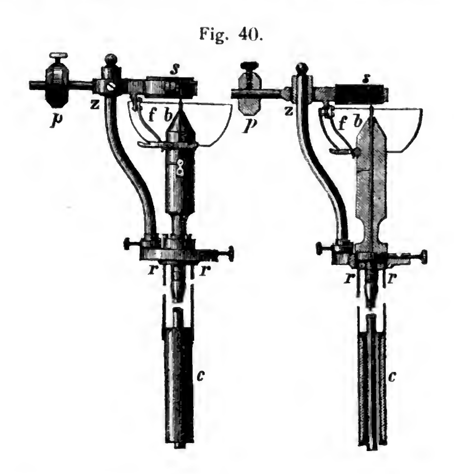
Glühlampe von Werdermann.

Diese unterscheidet sich von der Reynier-Lampe hauptsächlich durch die Umkehr der Anordnung. Werdermann gibt oben die negative und unten die positive Kohle (Fig. 40).

Der positive Kohlenstab ist an Schnüren aufgehängt, die bei *r* über Rollen laufen und als Gegengewicht den Cylinder *c* tragen; durch das Gewicht des Cylinders *c* wird der Stab gegen die negative Kohlenscheibe *s* gedrückt und auf diese Weise der Contact hergestellt. Die Kohlenscheibe *s* ist an einem horizontalen, um den Zapfen *z* drehbaren Arm befestigt, und dieser trägt an seinem zweiten Ende ein verstellbares

Gegengewicht *p*. Um den Contact unabhängig vom Brennen der Lampe stets gut zu erhalten, ist an dem horizontalen Arme eine Feder *f* angebracht, die auf den beweglichen Backen *b* drückt. Die Wirkung dieser Einrichtung ist folgende: Ist der Kohlenstift stark an die Scheibe angedrückt, so übt auch die Feder *f* auf

Fig. 40.



den Backen *b* einen starken Druck, klemmt den Kohlenstab ein und verhindert so ein weiteres Nachschieben desselben; ist durch das Abbrennen des Stabes der Contact ein loser geworden, so nimmt auch der Druck des mit der Feder verbundenen Backens ab und gestattet dem Kohlenstäbchen nachzurücken. Es wird dadurch ein zu starker Druck des Stäbchens gegen die Kohlenscheibe, der leicht ein Abbrechen des Stäbchens be-

wirken kann und die Lampe unruhig brennen liesse, vermieden.

Mehrere dieser Lampen können auch in einen Stromkreis hintereinander eingeschaltet werden, da in dem Falle, als eine Lampe erlöschen sollte, also kein Contact zwischen Stäbchen und Scheibe mehr stattfindet, sich der horizontale Arm senkt und durch Bildung eines metallischen Contactes die eine Lampe aus dem gemeinsamen Stromkreise ausschaltet. Dadurch ist aber ein gleichzeitiges Verlöschen aller übrigen Lampen hintangehalten.

Die Anwendung des oben geschilderten beweglichen Backens, der als eine Art Bremse wirkt, hat aber den Nachtheil, dass er einer raschen Abnützung unterliegt und dann für den Uebergang des Stromes aus dem Backen in die Kohle schlechten Contact gibt, indem die oberen Ränder der Bremse sich ausweiten und daher die beiden Backen in Berührung kommen, ohne mit der Kohle einen sicheren Contact zu bilden. Die Lampe wird dann unregelmässig brennen oder ihren Dienst ganz versagen. Die Abnützung selbst wird einerseits durch die beständige Bewegung des einen Backens und die damit verbundene Reibung, anderseits durch die fortwährend starke Erhitzung bewirkt.

Um diese Uebelstände zu beseitigen, hat Napoli verschiedene Verbesserungen erdacht.*) Eine derselben besteht darin, dass die beiden Backen durch Metallstäbchen ersetzt werden, die beiläufig denselben Querschnitt haben wie das Kohlenstäbchen. Bei dieser An-

*) E. Hospitalier, Les principales applications de l'électricité. 2. éd., p. 173.

ordnung kommen die beiden Theile der Bremse nie in directen Contact, welcher Art auch immer ihre Abnützung sein mag.

2. Bogenlampen.

Als Davy zuerst den Lichtbogen erzeugte, bediente er sich hierzu zweier Stäbchen aus Holzkohle. Diese brachten jedoch den Uebelstand mit sich, dass äusserst schnell nach Entstehen des Bogens die Kohlen so weit verbrannt und daher der Abstand ihrer Spitzen so weit vergrössert war, dass der Voltabogen den Zwischenraum nicht mehr überspannen konnte und daher erlosch, wenn man nicht durch stetes Nachschieben der Kohlen mit der Hand für die Erhaltung einer nicht zu grossen Entfernung ununterbrochen Sorge trug. Diesen Uebelstand hat Leon Foucault im Jahre 1844 dadurch wesentlich verkleinert, dass er an Stelle der Holzkohle die viel consistentere und daher langsamer abbrennende Retortenkohle anwandte. Immerhin musste aber bei der von ihm construirten Lampe die Entfernung der Kohlenspitzen mit der Hand regulirt werden. Deleuil hatte schon im Jahre 1841 mit gewöhnlichen Kohlen in einem luftleer gemachten Recipienten öffentlich die ersten Experimente mit elektrischem Lichte gemacht. Er wiederholte sie dann mit Foucault's Lampe und Retortenkohlen auf der Place de la Concorde in Paris. Es ist jedoch einleuchtend, dass eine Lampe, die der steten Regulirung mit der Hand bedarf, keinen praktischen Erfolg erzielen konnte.

Der Erste, welcher die Regulirung mit der Hand durch eine automatische ersetzte, war Thomas Wright

in London im Jahre 1845. Bei seiner Lampe liess er den Lichtbogen zwischen zwei kreisrunden Kohlenscheiben entstehen, welche er durch irgend einen Mechanismus in Drehung versetzte. Die Lampe fand jedoch keine Beachtung.

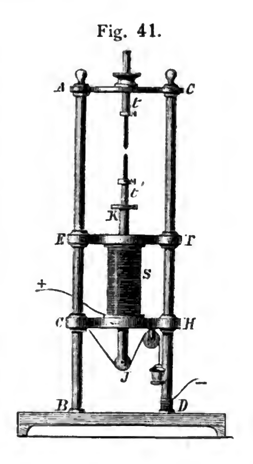
Ein wesentlicher Fortschritt in der Construction von Lampen datirt erst aus dem Jahre 1848. Leon Foucault in Frankreich, Staite und Petrie in England kamen nämlich ziemlich gleichzeitig auf die Idee, den Strom selbst zur Regulirung des Nachschubes der Kohlenspitzen anzuwenden. Diese Idee gründet sich auf die beiden Thatsachen, dass einerseits der Voltabogen einen Theil des Stromkreises bildet und daher die Stromstärke in demselben beeinflusst, anderseits aber eine von einem Strome durchflossene Drahtspirale einen Eisenkern magnetisirt und mit grösserer oder geringerer Kraft, je nach der Stärke des Stromes, denselben anzieht. Ueberträgt man nun dem Eisenkerne die Bewegung der Kohlen und verwendet einen Strom gleichzeitig zum Durchfliessen der Drahtspirale und zur Bildung des Bogens, so muss offenbar die stärkere oder schwächere Anziehung des Eisenkernes und somit die Bewegung der Kohle von der Stärke des Stromes in der Spirale abhängen; da aber die Stromstärke durch den Voltabogen verändert wird, so erfolgt die Bewegung des Eisenkernes, also auch der Kohle, entsprechend den Aenderungen im Voltabogen. Foucault's*) Regulator wurde in der Pariser Oper benützt, als es sich bei der Aufführung des »Prophet« darum handelte, den Aufgang der Sonne darzustellen. Der Erfolg war

*) Alglave et Boulard: La lumière électrique, 1882, p. 65.

ein brillanter, und seitdem wurde das elektrische Licht bei allen grösseren Opern und Balleten verwendet.

Von dieser Zeit (1848) an datirt sich die regelmässige Fortentwicklung und Ausbildung der Regulatoren, deren weitaus grösste Anzahl das Princip, »die Entfernung der Kohlenspitzen durch den Strom selbst zu reguliren,« zur Grundlage ihrer Construction hat.

Fig. 41.



Als einfachstes Beispiel dieser Art Regulatoren möge hier der beiläufig um die angegebene Zeit von Archereau construirte Regulator beschrieben werden. Die beiden Kupfersäulen *A B*, *C D* (Fig. 41) sind auf einem Holzgestelle befestigt und oben durch eine Kupfertraverse *A C* verbunden; letztere trägt den festen, positiven Kohlenhälter *t*. Das Solenoid *S* wird durch zwei andere, isolirte Traversen *E F*, *G H* getragen und ist auf eine Kupferröhre aufgerollt, in welcher mit sanfter Reibung die Stange *J K* als Träger der negativen Kohle t^1 gleitet. Der Stab ist in seiner oberen Hälfte aus Eisen, in seiner unteren Hälfte aus Kupfer. Er hängt in einer bei *G* befestigten und über zwei Rollen laufenden Saite, deren zweites Ende als Gegengewicht einen kleinen Becher mit Bleischrot trägt.

Der Strom tritt durch das mit + bezeichnete Drahtende in das Solenoid, durchläuft dasselbe, geht dann durch das mit dem Kupferrohre verbundene Ende der Spirale in das Kupferrohr, von diesem durch den mit dem Rohre in Contact befindlichen Eisencylinder in die positive Kohle und verlässt durch die obere negative Kohle und das Lampengestelle bei *D* die Lampe. Der Eisenkern wird dabei magnetisch und in die Spule hineingezogen, wodurch der Lichtbogen entsteht. Beim Abbrennen der Kohlen vergrössert sich der Widerstand im Bogen, weshalb der Strom schwächer wird, und daher kann die Anziehung der Spule dem Gegengewichte nicht mehr das Gleichgewicht halten. Die positive Kohle wird deshalb der negativen Kohle so weit genähert, bis durch Verminderung der Bogenlänge wieder der früher geschilderte Gleichgewichtszustand hergestellt ist.

Le Molt nahm hingegen im Jahre 1849 Wright's Idee wieder auf und construirte einen Regulator,*) bestehend aus zwei kreisrunden, parallel oder unter einem rechten Winkel zu einander gestellten Kohlenscheiben. Letztere hatten eine doppelte Bewegung: 1. drehten sie sich um ihre Axen und 2. wurden sie nach jeder solchen Umdrehung um ein dem Abbrennen entsprechendes Stück einander genähert. Le Molt konnte auf diese Weise das Licht 24 Stunden erhalten, ohne die Lampe berühren zu müssen.

Im Jahre 1845 construirte Jaspar und im Jahre 1859 Serrin seinen Regulator; beide sind gegenwärtig noch vielfach praktisch in Verwendung und müssen

*) Fontaine: Elektr. Beleuchtung. II. Aufl., p. 13.

daher mit den übrigen Regulatoren ausführlich besprochen werden.

Lacassagne und Thiers machten (1856—59) zahlreiche, öffentliche Versuche mit einem Regulator,*) bei welchem der Nachschub der einen Kohle durch Quecksilber bewirkt wurde, welches aus einem Reservoir unter den Kolben floss, auf welchem die bewegliche Kohle aufsass. Der Zufluss des Quecksilbers und somit auch die Bewegung der Kohle wurde durch zwei Elektromagnete bewerkstelligt, deren gemeinschaftlicher Anker auf den Schlauch wirkte, durch welchen das Quecksilber zufloss; einer dieser Magnete war im Nebenschlusse angeordnet; diese Lampe wäre auch für Theilungslicht anwendbar gewesen. Sie erzeugte ein ziemlich ruhiges Licht, brachte es jedoch mannigfacher Uebelstände wegen doch zu keiner praktischen Anwendung.

Way liess (1856) aus einem kleinen Trichter Quecksilber in eine eiserne Schale fliessen; der Trichter und die Schale wurden mit je einem Pole einer Elektricitätsquelle verbunden. Zwischen den einzelnen Tropfen des discontinuirlichen Strahles entstanden kleine Lichtbogen und das Ganze gab, in einem Glascylinder eingeschlossen, eine ziemlich gleichförmige Lichtwirkung. Obwohl vielfache Vorsichtsmaassregeln angewandt wurden, konnte Way das Entweichen von Quecksilberdämpfen nicht ganz ausschliessen, ja er selbst wurde schliesslich von diesen getödtet.

Auch Harrison benützte (1868) ausfliessendes Quecksilber zur Construction von Lichtregulatoren sehr

*) Fontaine: Elektr. Beleuchtnng. II. Aufl, S. 22.

verschiedener Anordnung; jedoch praktisch brauchbar hat sich keiner erwiesen. Uebrigens hatte er schon im Jahre 1857 einen Regulator*) erdacht, dessen negativer Pol ein gewöhnlicher cylindrischer Kohlenstab, dessen positiver Pol ein Kohlencylinder grösseren Umfanges war. Die obere, negative Kohle stand mit ihrer Axe vertical und wurde in der Richtung derselben entweder durch ein Gewicht herabbewegt oder durch eine am Anker eines Elektromagnetes befestigte Schnur hinaufgezogen, entsprechend dem Abbrennen der Kohle. Der positive Kohlencylinder lag horizontal und drehte sich um eine Schraubenspindel als Axe, so dass er also während der Dauer seiner Drehung fortwährend in der Richtung seiner Axe weiterrückte. Die Drehung wurde durch ein Uhrwerk besorgt.

Auf der Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 zeigte Dr. W. v. Siemens eine Lampe mit Nebenschluss, nachdem er vorher schon Patente auf einige derartige Constructionen genommen hatte.

Die Erfindung der Jablochkoffkerze (1876), welche neuerdings die Aufmerksamkeit im erhöhten Maasse auf die elektrische Beleuchtung lenkte, brachte es mit sich, dass in kürzester Zeit von mehreren Constructeuren, Reynier, Lontin, Mersanne, Fontaine und schliesslich v. Hefner-Alteneck Lampen construirt wurden, die den Anforderungen entsprachen, welche die Praxis an sie stellen muss, und deshalb gegenwärtig thatsächlich in Verwendung stehen. Die seither erfundenen Regulatorlampen zählen nach Hunderten und es können

*) Fontaine: Elektr. Beleuchtung. II. Aufl., S. 14.

deshalb hier nur die wichtigsten in den Kreis der Betrachtungen einbezogen werden.

* * *

Sämmtliche Bogenlampen, so gross ihre Zahl auch geworden ist, kommen doch nur in den drei Formen, nämlich als Hauptstrom-, Nebenschluss- und Differentiallampen zur Anwendung. Es wäre daher wohl naheliegend, bei einer Beschreibung von Bogenlampen diese in die genannten drei Gruppen einzutheilen. Aber trotz der wesentlich verschiedenen Functionen dieser Lampenformen unterscheiden sie sich constructiv meistens nur sehr unbedeutend von einander, d. h. eine und dieselbe Lampenconstruction kann mit ganz unwesentlichen Aenderungen in allen drei Formen gebaut werden; der Unterschied zwischen den einzelnen Formen liegt eigentlich nur in der inneren Schaltung der Lampen. Hingegen können diese, wenn man ihre mechanische Construction in Betracht zieht, in gewisse Gruppen gebracht werden, welche ganz charakteristische Unterschiede zeigen. So wird bei einer Gruppe von Lampen (und dahin gehören die ältesten Constructionen) die Bewegung der Kohlen durch Uhrwerk bewirkt. Dieser steht eine umfangreiche Gruppe von Lampen am nächsten, die zwar kein Uhrwerk, also kein selbstständig laufendes Getriebe besitzen, bei welchen aber ein Laufwerk irgendwelcher Art die Kohlen gegeneinander führt; dieses Laufwerk, gewöhnlich durch das Gewicht der Kohlenträger in Bewegung gesetzt, hat keine selbstständige Bewegung, sondern erlangt erst eine solche durch eine Art Auslösung, welche durch den Strom-

gang in der Lampe (also das Brennen der Lampe) bethätigt wird. Man kann nun diese Lampengruppe, der fast alle gebräuchlichen Lampen angehören, weiter in Unterabtheilungen eintheilen nach der Art, in welcher die Auslösung oder Hemmung der Kohlenbewegung stattfindet, also z. B. je nachdem sie durch Solenoide einen Hemmring, Sperrhaken oder durch magnetische Bremsung bewirkt wird. An diese Lampen mit Laufwerk würden sich dann solche schliessen, bei welchen die Kohlen durch förmliche Elektromotoren bewegt werden und endlich solche, bei denen die Wärmewirkung des elektrischen Stromes die Regulirung des Lichtbogens übernimmt. Gewissermaassen den Anhang hierzu bilden dann jene Lampen, bei welchen die Entfernung der Kohlen von einander keiner Regulirung bedarf, da sie durch die Construction der Lampe eine fixe, auch während des Brennens unveränderliche ist; es sind dies die elektrischen Kerzen. In dieser Reihenfolge sollen auch nachstehend die wichtigsten Bogenlampen besprochen werden, doch vorher noch die oben erwähnten Schaltungen, einem hierauf bezüglichen Vortrage F. Uppenborn's*) folgend, nähere Erläuterungen finden.

In Fig. 42 ist eine Hauptstromlampe schematisch dargestellt. Die obere positive Kohle ist an einem Hebel aufgehängt gedacht. Rechts vom Drehpunkte wirkt eine Feder *f*, welche die Kohlenstäbe einander zu nähern trachtet, links ein Solenoid, welches einen Eisenkern anzieht und damit bestrebt ist, die Kohlen-

*) Centralblatt für Elektrotechnik. X. (1888), S. 102; Kalender für Elektrotechniker, herausgegeb. von F. Uppenborn. VII. (1890), S. 180.

stäbe von einander zu entfernen. Nennt man n die Windungszahl, I die Stromstärke im Solenoid, so wird man die Gleichgewichtsbedingung schreiben können

$$nIc = f,$$

worin c eine Constante bedeutet. Daraus ergibt sich

$$I = \frac{f}{c \cdot n} = \text{constant}.$$

Die Lampe regulirt also auf constante Stromstärke; damit dabei auch die Lichtbogenlänge constant bleibt, muss also auch die Spannung constant sein.

Fig. 42.

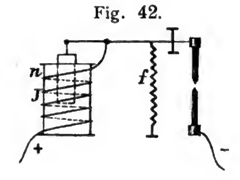
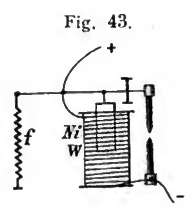


Fig. 43.



Nach dem Vorgange von Gülcher und Gravier werden solche Hauptstromlampen für Nebeneinander schaltung von Bogenlampen vielfach angewandt. Damit nun beim Contact der Kohlenstäbe durch das bedeutende Sinken des Widerstandes die Lampen einander nicht stören, wendet man sogenannte Vorschaltwiderstände an, ein Verfahren, welches von Werdermann herrührt, der seine Halbglühlampe in dieser Weise schaltete.

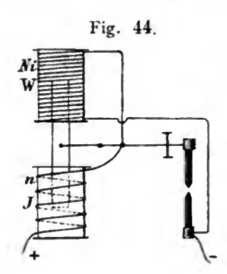
In Fig. 43 ist eine Nebenschluss-Bogenlampe schematisch dargestellt. Bei dieser Lampe haben Feder und Elektromagnet gegenüber der Hauptstromlampe ihre Stellung vertauscht: Die Feder sucht die Kohlenstäbe

zu trennen, der Elektromagnet sie zusammenzuziehen. Nennt man N die Windungszahl, i die Stromstärke, W den Widerstand im Solenoid, so wird die Gleichgewichtsbedingung lauten:

$$N i c = f.$$

Setzt man für i den Werth: Klemmspannung Δ durch Widerstand W, so hat man

Fig. 44.



$$N \frac{\Delta}{W} c = f,$$

woraus sich ergibt:

$$\Delta = f \frac{W}{c N} = \text{constant}.$$

Die Nebenschlusslampe regulirt auf constante Spannung, und das entspricht den Regulirungszwecken am besten.

In Fig. 44 ist eine Differentiallampe dargestellt. Bei dieser Lampe ist an Stelle der schematischen Feder ein zweites Solenoid getreten, welches dem ersten entgegenwirkt. Die Differentiallampe ist eine Combination der beiden vorher beschriebenen Lampenschaltungen. Nennt man die einzelnen Grössen in dieser Lampe wieder wie vorher, so schreibt sich die Gleichgewichtsbedingung

$$n I c = N i.$$

Da nun

$$i = \frac{\Delta}{W},$$

so kann man auch schreiben

$$n I c = N \frac{\Delta}{W},$$

woraus

$$\frac{\Delta}{I} = c\,W\,\frac{n}{N} = \text{constant.}$$

Die Differentiallampe regulirt aber auf constanten Widerstand. Bei wachsender Stromstärke muss daher die Spannung proportional sein und damit die Lichtbogenlänge ganz unverhältnissmässig zunehmen.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich auch die specielle Eignung dieser Lampenarten für die verschiedenen Schaltungen im Stromkreise Die Hauptschlusslampe eignet sich vornehmlich für Parallelschaltung; es muss aber dann ein Beruhigungswiderstand W hinter jede Lampe geschaltet werden, welcher beiläufig 20 V verzehrt. Die Nebenschlusslampe wird zweckmässig zur Parallelschaltung und zwar entweder einzeln oder zu je zweien hintereinander verwendet. Für die Hintereinanderschaltung eignet sich die Nebenschlusslampe nur dann, wenn man entweder Relais anordnet, welche im stromlosen Zustande an die Klemmen der Lampen einen Zweigwiderstand legen, damit die Maschinen erregt werden können, oder wenn man der Nebenschlusswicklung einen relativ niedrigen Widerstand gibt. Die Differentiallampe regulirt auf constanten Widerstand und eignet sich daher besonders für Hintereinanderschaltung.

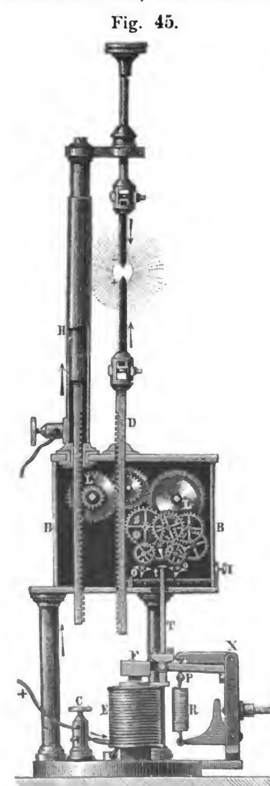
* * *

Zur Beschreibung der gebräuchlichsten Lampenconstructionen selbst übergehend, mögen also zunächst, entsprechend der oben gegebenen Uebersicht, zwei Lampen mit Uhrwerk beschrieben werden.

Lampe von Foucault und Duboscq.

Obwohl diese Lampe für industrielle Zwecke nicht brauchbar ist, soll deren neuere Construction doch hier besprochen werden, da diese zu speciellen Zwecken, wie z. B. bei Projectionsapparaten, noch häufig in Verwendung steht. Fig. 45 zeigt dieselbe im Längsschnitte. In dem Kasten BB befinden sich zwei Uhrwerke, die von den Federgehäusen L und L' ihre Bewegung erhalten. Das Uhrwerk L läuft in das Sternrädchen o, das Uhrwerk L' in das Sternrädchen o' aus. Zwischen beiden Sternrädchen ist der Sperrzahn Tt, welcher mit dem Hebel FX verbunden ist. Diesen sucht das Solenoid E, dessen Anker das Hebelende F bildet, nach der einen Richtung, die Feder R nach der entgegengesetzten Richtung zu drehen.

Fig. 45.



Halten sich die Federkraft und die Anziehungskraft des Solenoides das Gleichgewicht, so steht der

Sperrzahn *Tt* in der Mitte zwischen den beiden Sternrädern *oo'* und hemmt beide in ihrer Bewegung. Ueberwiegt die Federkraft, so ist das Rädchen *o'* und das damit zusammenhängende Uhrwerk gehemmt, während das Rädchen *o* mit seinem Uhrwerke laufen kann. Beim Ueberwiegen der Anziehungskraft des Solenoides ist das Umgekehrte der Fall. Die Hemmung des einen oder anderen Uhrwerkes wird durch das Satellitenrad *S* vermittelt. Die beiden Uhrwerke sind so angeordnet, dass das eine die beiden Kohlenträger mit Hilfe ihrer Zahnstangen gegeneinander, das andere sie voneinander bewegt. Hierbei ist durch ein entsprechendes Verhältniss (1:2) der Raddurchmesser dafür gesorgt, dass die eine Kohle sich doppelt so schnell als die andere bewegt.

Der Strom tritt durch die Klemme *C* in das Solenoid ein, geht durch die Lampenmasse in den Träger *D*, bildet den Lichtbogen und verlässt durch den oberen Kohlenträger *H* die Lampe. Ist die Entfernung der Kohlenspitzen die richtige, so halten sich die Anziehungskraft des Solenoides und die Federkraft das Gleichgewicht, und der Sperrzahn steht in der Mitte der beiden Rädchen *oo'*, hemmt also beide Uhrwerke. Wird jedoch die Entfernung der Kohlenspitzen voneinander zu gross, so nimmt infolge des grösseren Widerstandes im Lichtbogen die Stromstärke und somit auch die Anziehungskraft des Solenoides ab; die Feder zieht den Sperrzahn nach rechts und gibt dadurch das mit dem Rädchen *o* in Verbindung stehende Uhrwerk frei, welches die Kohlen gegen einander bewegt. Sobald jedoch die normale Länge des Lichtbogens wieder her-

gestellt ist, hat auch das Solenoid wieder seine frühere Anziehungskraft erreicht, zieht deshalb den Anker an, und der mit letzterem verbundene Sperrzahn hemmt abermals beide Uhrwerke. Ist der Lichtbogen zu klein, so gewinnt das Solenoid so sehr an Kraft, dass es die Federkraft übertrifft und durch den Hebel den Sperrzahn so weit nach links dreht, dass dadurch das Rädchen *o'* und dessen Uhrwerk freigegeben wird. Letzteres bewirkt aber ein Auseinandertreiben beider Kohlenspitzen und zwar ebenfalls wieder bis zur Herstellung der normalen Lichtbogenlänge.

Die Empfindlichkeit der Regulirung kann durch Veränderung in der Spannung der Feder *R* beliebig gemacht werden. Zu diesem Zwecke ist die Feder mit hrem unteren Ende an einem Winkelhebel befestigt, dessen Stellung durch eine Schraube bestimmt wird. Der complicirte Mechanismus und der Umstand, dass die Lampe vor ihrem Gebrauche erst aufgezogen und besonders eingestellt werden muss, machen sie trotz ihrer befriedigenden Leistung für die praktische Verwendung im Grossen unbrauchbar.

In einen Stromkreis kann nur eine Foucault'sche Lampe eingeschaltet werden; sie gehört daher zu den Lampen für Einzellicht.

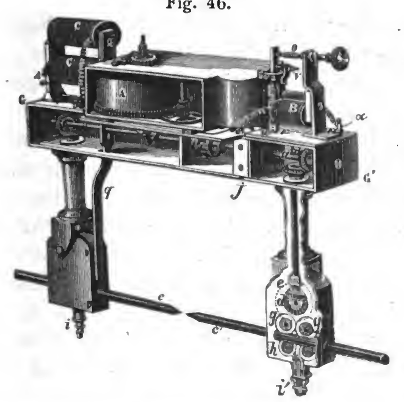
Lampe von Mersanne.

Bei dieser für Theilungslicht bestimmten Lampe wird die Bewegung der Kohlen behufs Nachschub derselben gleichfalls durch ein Uhrwerk bewirkt. Fig. 46 zeigt dieselbe in einem Verticalschnitte und Fig. 47 in perspectivischer Ansicht. Das Federrad *A* überträgt

durch einige Uebersetzungsräder seine Bewegung auf die Welle *a a*, die aus zwei mit einander durch Kuppelung verbundenen Theilen besteht. An jedem Ende der Welle *aa* sitzt ein Kegelrad, welches in ein zweites auf der verticalen Welle *b* befestigtes Kegelrad eingreift. Durch des Getriebe *e d* wird die Bewegung auf die Rollen *g g* übertragen, welche die Kohlenstäbe



Fig. 46.



c c' gegen einander bewegen, sobald das Uhrwerk in Gang gesetzt wird. Von unten sind die Kohlenstäbe durch die Führungsrollen *h* gehalten, die durch die Feder *i'* angedrückt werden. Der Elektromagnet *C C'* ist in dem Hauptstromkreise eingeschaltet und seine Drahtwindungen bestehen aus dickem Drahte. Der Anker *Q q* ist an der Büchse *i* befestigt und entfernt diese etwas von der zweiten Büchse *i'*, wenn er vom Elektromagnete angezogen wird. Der Elektromagnet

B liegt im Nebenschlusse und besitzt Windungen eines dünnen Drahtes. Sein Anker *n* greift mit dem Sperrkegel *u* in das Sternrad *e* ein, wenn er nicht vom Elektromagnete angezogen ist. Der Anziehung des Elektromagnetes wirkt die Feder *o* entgegen. Durch die Schraube *v* kann die Stellung des Ankers und durch die Schraube *r* die des Sperrkegels geregelt werden.

Der Strom durchläuft zunächst den Elektromagnet *CC*, gelangt dann durch die Büchse *i* in die Kohlen *c* und *c'*, zwischen welchen der Lichtbogen gebildet werden soll, und verlässt durch die Büchse *i'* und den Lampenkörper *G'* die Lampe. Der Elektromagnet zieht seinen Anker *Qq* an und rückt dadurch die Büchse *i* zur linken Seite; die Kohlen gehen also etwas auseinander und der Lichtbogen entsteht. Wird durch Abbrennen der Kohlen die Entfernung ihrer Spitzen zu gross, so geht der grössere Theil des Stromes durch einen Nebenschluss, in welchem der Elektromagnet *B* liegt; nun zieht dieser seinen Anker *n* an und gibt durch Rückziehen des Sperrkegels *u* das Sternrad *e* und somit auch das Uhrwerk frei. Dieses treibt die Kohlen so lange zusammen, bis der Voltabogen wieder seine normale Grösse erreicht hat und infolge dessen der Strom im Nebenschlusse so weit geschwächt ist, dass der Magnet *B* seinen Anker *n* abermals loslässt und das Uhrwerk neuerdings hemmt.

Diese Lampe hat den grossen Vortheil, dass sie lange Zeit brennen kann, ohne dass die Kohlen zu erneuern sind oder die Lampe überhaupt berührt werden muss. Das Uhrwerk kann nämlich, einmal auf-

gezogen, 36 Stunden laufen, und die Kohlen können, dank der speciellen Anordnung der Kohlenträger, beliebig lang genommen werden. Die Regulirung soll übrigens nicht exact genug erfolgen, um ein so ruhiges und stetiges Licht zu erzeugen, als zur Beleuchtung von Innenräumen erforderlich ist. Mersanne's Lampe mit vertical angeordneten Kohlenstäben ist der eben beschriebenen ganz ähnlich construirt.

Fig. 47.

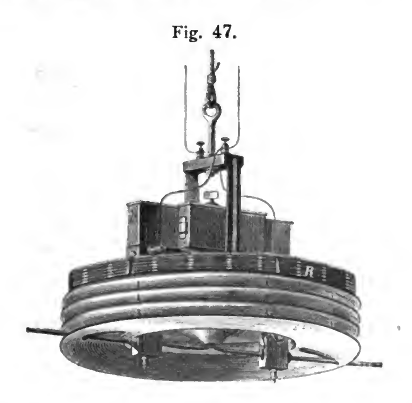


Fig. 47 zeigt die Lampe mit einer Art Zonenreflector ausgerüstet, der bei gewöhnlichen Beleuchtungen (von oben) aus Metall hergestellt ist. Soll das vom Reflector bewirkte Schattenwerfen nach oben vermieden werden, so macht man die einzelnen Kreisscheiben des Reflectors opal, so dass ein Theil des Lichtes nach oben durchdringen kann.

* * *

Regulatoren mit Uhrwerk wurden auch von anderen Constructeuren hergestellt, erlangten aber keine praktische Bedeutung. Bei der weitaus grössten Anzahl von Regulatorlampen verzichtet man auf die Anwendung eines eigenen Motors (Uhrwerkes oder Elektromotors) zum Vorschieben der Kohlen und lässt dafür die Schwerkraft diese Arbeit ausführen. Dafür, dass diese Kraft immer rechtzeitig zur Geltung kommt und entsprechend lange Zeit in Wirksamkeit bleibt, muss der elektrische Strom mit Hilfe eines Solenoides oder eines Elektromagnetes sorgen. Auch für Regulatorlampen, bei welchen der Kohlennachschub durch die Schwerkraft bewirkt und durch ein Solenoid geregelt wird, haben wir bereits in Archereau's Lampe ein Vorbild kennen gelernt. Diese wies jedoch noch mannigfache Mängel auf; einer derselben besteht darin, dass die Anziehungskraft des Solenoides auf den Eisenkern sich im Verlaufe der Brenndauer ändert, woraus ein ungleich langer Lichtbogen zum Beginne und am Ende der Brenndauer, also auch eine sich ändernde Lichtintensität resultiren muss.

Das Solenoid strebt nämlich allerdings stets den Eisenkern in sich hineinzuziehen, aber die Kraft dieser Anziehung bleibt, selbst unter der Voraussetzung unveränderlicher Stromstärke im Solenoide, nicht immer dieselbe. Hat der Eisenstab einen constanten Querschnitt (z. B. eine cylindrische Gestalt), so ist die Kraft, mit welcher er in die Spirale hineingezogen wird, verschieden, je nach der Lage des Eisenstabes zur Spirale. Diese Kraft ist am stärksten, wenn ein Ende des Stabes mit der Mitte der Spirale zusammenfällt, sie ist am

schwächsten, wenn die Mitte des Stabes mit der Mitte der Spirale zusammenfällt. Beim Regulator von Archereau wird der untere Kohlenträger desto höher hinaufrücken müssen, je länger die Lampe brennt; damit ändert sich aber offenbar auch die Lage des Eisenstabes zum Solenoide, daher auch die Anziehungskraft des letzteren auf den ersteren. Ist nun zum Beginne des Brennens der Eisenkern mit der unteren Kohle durch Bleischrot im Gleichgewichte so ausbalancirt worden, dass dieses Gegengewicht der Anziehung des Solenoides auf den Eisenkern für eine bestimmte Länge des Lichtbogens das Gleichgewicht hält, so muss dieses Gleichgewicht, wie leicht einzusehen, gestört werden, sobald sich die Anziehungskraft des Solenoides ändert. Diese Störung des Gleichgewichtes tritt aber bei längerer Function der Lampe durch die Aenderung der gegenseitigen Lage von Eisenkern und Solenoid ein und somit muss auch die Länge des Lichtbogens sich ändern. In welcher Weise dieser Uebelstand beseitigt wurde, werden nachstehende Lampenbeschreibungen zeigen.

Am nächsten lag es wohl, die Kraft des Solenoides in demselben Maasse zu verstärken, als die Stellung des Eisenkernes zum Solenoide ungünstiger wird. Dies erreichte Gaiffe dadurch, dass er das Solenoid konisch wickelte (Fig. 48), d. h. die Zahl der Windungen successive zunehmen liess. Marcus (in Wien) theilt das Solenoid in eine Reihe von einander getrennter, aber gleichwerthiger Spulen, die über einander angeordnet sind. Sie stehen mit Contactstreifen in Verbindung, über welche durch Auf- und Abwärtsbewegung des Kohlenträgers Contactrollen geführt werden. Diese

Anordnung bewirkt immer nur die Einschaltung einer durch die Stellung des Eisenkernes (beziehungsweise Kohlenträgers) bestimmten Spulengruppe, so zwar, dass

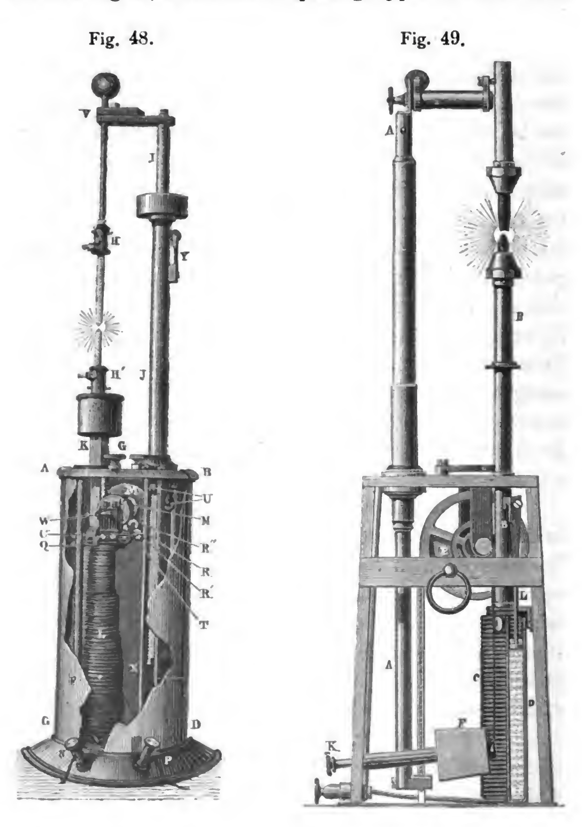


Fig. 48. Fig. 49.

die mittlere der wirksamen Spulen vom Schwerpunkte des Eisenkernes stets gleichweit entfernt ist; das Solenoid muss daher immer dieselbe Anziehungskraft auf den Eisenkern ausüben.

Lampe von Jaspar.

Auch Jaspar bedient sich zur Regulirung des Lichtbogens eines Solenoïdes; die ungleichförmige Anziehung desselben wird nicht beseitigt, sondern durch ein entsprechend wirkendes Gegenmittel ausgeglichen. Die obere positive Kohle (Fig. 49) ist an dem Träger *A* befestigt und lässt sich durch Schrauben genau über der unteren Kohle einstellen. Der Träger *A* ist von den übrigen Theilen der Lampe vollständig isolirt und wird mit dem positiven Pole der Elektricitätsquelle verbunden. An seinem unteren Ende trägt er einen Ansatz, der an einer Führungsstange gleitet, wodurch das Drehen des Kohlenhalters vermieden wird. Von diesem Ansatze geht eine Schnur zum Umfange einer Scheibe, auf deren Axe eine zweite Scheibe, aber nur von halbem Durchmesser der ersteren sich befindet; die Schnur an ihrem Umfange führt zum unteren Kohlenträger *B*. Auf diese Art muss die untere negative Kohle stets den halben Weg der oberen positiven Kohle zurücklegen. Als Gegengewicht zum Gewichte des Kohlenträgers *A* wirkt das Laufgewicht *F*; der Hebel, auf welchem das Laufgewicht sitzt, ist nämlich durch eine Schnur mit einer dritten Scheibe verbunden, die ebenfalls auf der Axe der beiden ersterwähnten Scheiben befestigt ist. Die Schraube *K* dient dazu, das Gewicht *F* auf seinem Hebel zu verschieben und da-

durch seine Zugkraft zu vermehren oder zu vermindern, je nachdem es die angewandte Stromstärke erfordert. Der negative, untere Kohlenträger *B* ist aus Eisen und taucht in das Solenoid *C*. So lange kein Strom durch die Lampe geht, überwiegt das Gewicht des Trägers *A* und dieses sinkt herab; infolge seiner Verbindung durch die Schnurläufe muss gleichzeitig der Träger *B* gehoben werden, und die beiden Kohlen berühren sich. Schaltet man jetzt die Lampe in einen Stromkreis, so wird der Träger *B* in das Solenoid hineingezogen, *B* sinkt also und *A* muss deshalb steigen; die Kohlen gehen auseinander und die Lampe beginnt zu brennen. Damit die Bewegung nicht zu rasch erfolgt, ist an dem Träger *B* eine Stange *L* befestigt, welche unten einen Kolben trägt; dieser bewegt sich mit geringem Spielraume in dem mit Quecksilber gefüllten Cylinder *D*. Da auf diese Weise das Quecksilber nur durch den engen ringförmigen Raum zwischen Kolben und Cylinderwand passiren kann, wird auch die Stange *L* und somit der Träger *B* zu einem langsamen, gleichförmigen Gange gezwungen.

In dem Maasse, als die Kohlen verzehrt werden, wächst auch die Länge des Voltabogens, die Stromstärke nimmt ab und das Solenoid verliert an Kraft. Jetzt kann das Gewicht der Stange *A* wieder die Anziehungskraft des Solenoides überwinden, weshalb die obere Kohle sinken und die untere steigen wird, d. h. also die Kohlen werden ihrem Abbrennen entsprechend nachgeschoben. Die Anziehungskraft einer Spirale auf einen Eisenstab von gleichem Querschnitte ist aber verschieden, je nach der Stellung des Eisenstabes zur

Spirale. Beginnt die Lampe mit frisch eingesetzten Kohlen zu brennen, so befindet sich der Kohlenträger *B* in seiner tiefsten Stellung, sind die Kohlen nahezu abgebrannt (welchen Moment die Fig. 48 zeigt), so ist er in seiner höchsten Stellung angelangt. In diesem Stadium wird deshalb die Einwirkung des Solenoides auf den eisernen Kohlenträger eine viel kräftigere sein, als zum Beginne des Brennens der Lampe. Daraus würde aber zu Ende der Brenndauer ein viel längerer Voltabogen resultiren als zu Beginn derselben. Diesen Uebelstand vermeidet Jaspar auf ebenso einfache als sinnreiche Weise. Die Scheibe, welche den Schnurlauf aufnimmt, trägt nämlich ein Gewicht *E*, welches, wie die Zeichnung zeigt, für das Ende der Brennzeit auf der linken Seite der Drehaxe sich befindet. Es wirkt also mit seinem vollen Gewichte der Anziehung des Solenoides entgegen und unterstützt die Wirkung des Gewichtes von *A*. Am Beginne der Brennzeit steht die Scheibe so, dass sich das Gewicht *E* auf der rechten Seite von der Drehaxe befindet, also mit seiner ganzen Schwere im Sinne der Anziehung des Solenoides wirkt. Im ersteren Falle ist aber die Anziehung des Solenoides am grössten, aber auch die Gegenwirkung des Gewichtes *E* am stärksten, und im letzteren Falle ist die Anziehung des Solenoides am schwächsten, aber dafür wird sie auch durch das Gewicht *E* unterstützt.

Während des Brennens nimmt die Anziehung des Solenoides stetig zu, die Unterstützung dieser Wirkung durch das Gewicht aber stetig ab, denn mit dem Abbrennen der Kohlen dreht sich auch die Scheibe und das Gewicht wird gehoben; damit ist aber eine stetige

Abnahme der wirksamen Kraftcomponente von E verbunden. Dies geht so lange fort, bis E senkrecht über seiner Drehungsaxe angelangt ist. Hier hört seine Gegenwirkung auf. Brennt die Lampe länger fort, so gelangt das Gewicht E auf die linke Seite und wirkt nun der inzwischen weiter gewachsenen Anziehungskraft des Solenoides entgegen. Im selben Maasse, als letztere sich vermehrt, wächst auch die Gegenwirkung des Gewichtes.

Auf diese Art erzielt also Jaspar trotz der Eisenstange von unveränderlichem Querschnitte doch eine stets gleich bleibende Bewegung im Kohlennachschube. Das Gewicht E ist überdies noch in radialer Richtung verstellbar, so dass dadurch und durch Verstellung des Gewichtes F mittelst der Schraube K dieselbe Lampe für verschiedene Stromstärken Verwendung finden kann.

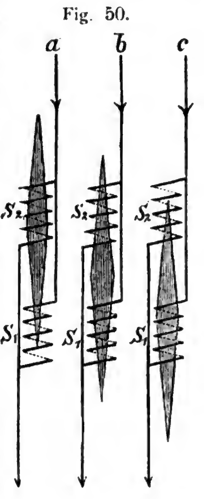
Einige Organe von untergeordneter Bedeutung sind in der Zeichnung weggelassen, um die Deutlichkeit nicht zu beeinträchtigen. Der Regulator zeichnet sich durch grosse Empfindlichkeit und Sicherheit des Betriebes aus.

Lampe von Piette und Křižik.

Durch besondere Einfachheit zeichnet sich die Lampe von Piette und Křižik aus, die infolge dieses Umstandes und wegen ihres exacten Functionirens zu den besten Lampen zählt, die gegenwärtig in praktischer Verwendung stehen. Da bei dieser Lampe der Nachschub der Kohlen direct durch die Einwirkung zweier Solenoide auf einen Eisenkern bewirkt wird, muss ebenso wie bei den vorbeschriebenen Regulatoren dafür

gesorgt werden, dass die Verschiedenheit der Stellung des Eisenkernes zu den Solenoiden für den regelmässigen Gang der Regulirung unschädlich gemacht wird. Statt wie Gaiffe das Solenoid konisch zu gestalten, gaben Piette und Křižik dem Eisenkerne die Gestalt eines Doppelkegels und beliessen dafür den Solenoiden ihre cylindrische Gestalt. Bei dieser Anordnung nimmt der Querschnitt des Eisenstabes in demselben Maasse ab oder zu, als die Wirkung der Solenoide zu- oder abnimmt. In allen drei Lagen *a*, *b*, *c* (Fig. 50) wird daher der Eisenkern sich in Ruhe befinden, wenn die Voraussetzung gemacht wird, dass die Spulen S_1 und S_2 elektrisch gleichwerthig sind. In *a* befindet sich z. B. das untere Ende des Stabes in der Mitte der Spirale S_1, also in der Stellung der grössten Anziehungskraft; die Mitte des Stabes fällt mit der Mitte der Spirale S_2 zusammen, ist folglich in der Stellung der geringsten Anziehungskraft, die von dieser Spirale ausgeübt wird; es müsste daher der Stab sich abwärts bewegen, wenn nicht der Querschnitt desselben in der Spule S_2 am grössten und in der Spule S_1 am kleinsten wäre. Dieser Umstand gleicht aber die verschiedenen Anziehungskräfte der Spiralen aus, und der Stab bleibt in Ruhe. In *c* haben beide Spiralen ihre Rollen vertauscht, und in *b* befinden sich

Fig. 50.



beide Spulen in derselben Stellung zum Stabe. Der Stab ist somit in allen drei Lagen im Gleichgewichte.

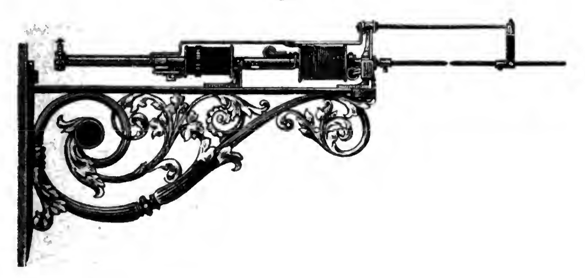
Lässt man nun die Voraussetzung, dass durch beide Spulen ein gleich starker Strom geht, fallen, so kann sich der Stab nicht mehr im Gleichgewichte befinden, sondern muss von jener Spule stärker angezogen werden, durch welche der kräftigere Strom circulirt. Die verschiedene Stromstärke in beiden Spulen wird erreicht, indem man die eine Spule aus starkem Drahte anfertigt und in den Hauptstromkreis schaltet, während die zweite Spule dünne Drähte erhält und in einen Nebenschluss zu liegen kommt. Hierbei wird die Stärke, mit welcher der konische Eisenkern von den Spulen angezogen wird, stets nur von der Stromstärke in diesen, nie aber von der gegenseitigen Stellung bestimmt sein. Die Richtung, nach welcher sich der Eisenkern bewegt, entspricht sonach der Differenzwirkung beider Spulen. Wir ersehen hieraus zugleich auch, dass der Regulator von Piette und Křižik eine Differentiallampe ist.

Die ersten Modelle, welche Křižik anfertigte, wie z. B. seine Horizontallampe (Fig. 51), waren in der That unter Benützung eines doppeltkonischen Eisenkernes construirt. Zweckmässigkeitsgründe veranlassten aber später dazu, den Doppelkegel in zwei Hälften zu zerlegen und dementsprechend auf jede dieser Hälften eine Spirale wirken zu lassen; es bedarf jedoch wohl keiner weiteren Auseinandersetzung, dass hierdurch das soeben erläuterte Princip keine Aenderung erlitten hat.

Das Modell, nach welchem gegenwärtig Schuckert in Nürnberg die Lampen erzeugt, ist in den Figuren

52 *A* und *B* — Mechanismus und völlig montirte Lampe — in perspectivischen Ansichten dargestellt. Die Wirkungsweise der Lampe, und zwar für den Fall der Hintereinander- (oder Serien-) Schaltung ist aus dem Schema in Fig. 53 unschwer zu erkennen. Stehen die beiden Kohlen ausser Berührung, so wird der elektrische Strom nach Einschaltung der Lampe folgenden Weg einschlagen müssen: Bei der mit + bezeichteten Klemme eintretend, kann er nur in die

Fig. 51.



Spirale *N* gelangen, über den Platincontact bei *p* gehen und auf dem Wege über den Widerstand *s* und die mit — bezeichnete Klemme die Lampe verlassen. Dadurch wird der Eisenkern in die Spule *N* hineingezogen, also die untere Kohle mit der oberen zur Berührung gebracht. Hierdurch erschliesst sich aber für den Strom ein neuer Weg durch die Lampe, nämlich: von + in den oberen Kohlenträger, dann in den unteren Kohlenträger, von diesem in die Windungen des Elektromagnets *c* und durch die Spirale *H* zur Klemme —.

Jetzt muss die Spirale H ihren Eisenkern anziehen, dadurch die obere Kohle wieder ausser Berührung mit der unteren Kohle bringen, und also den Voltabogen hervorrufen; gleichzeitig zieht nun aber auch der Elektromagnet c seinen Anker an, unterbricht dadurch den Contact bei p und somit auch den erst angegebenen

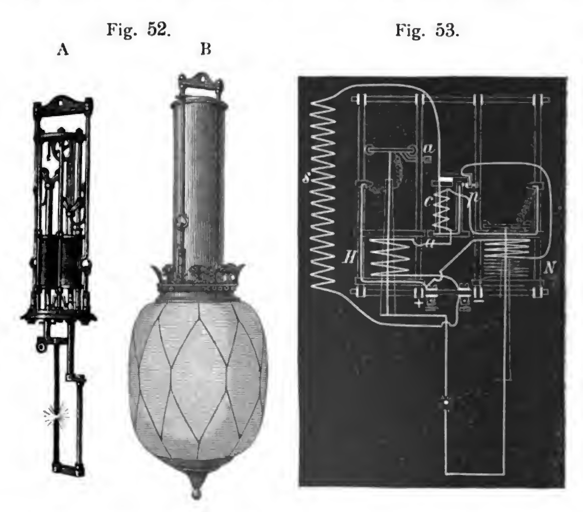


Fig. 52. Fig. 53.

Stromweg; der Strom nimmt also zum weitaus grössten Theile auf dem letztangegebenen Wege seinen Verlauf. Nur ein äusserst geringer Bruchtheil wird die Widerstände, welche ihm die Windungen starken, namentlich aber die Windungen dünnen Drahtes auf der Spule N entgegensetzen, überwinden, durch das Lampengestelle auf den hiervon nicht isolirten unteren Kohlenträger

gelangen und auf dem Wege über den Elektromagnet *c* und die Spule *H* zur —-Klemme gehen. In dem Maasse aber, als durch das Abbrennen der Kohlen der Widerstand im Stromkreise des Voltabogens zunimmt, sich also dem Widerstande im letztangegebenen Nebenstromkreise nähert, muss offenbar im letzteren die Stromstärke zunehmen, im ersteren abnehmen. Die Spule *N* mit ihren beiderlei Windungen wird dann ihre Anziehungskraft auf den zugehörigen Eisenkern steigern, während die Anziehungskraft der Spule *H* auf ihren Eisenkern im selben Maasse abnimmt. Die Folge davon ist eine Gegeneinanderbewegung der beiden Kohlen bis auf ihre normale Entfernung.

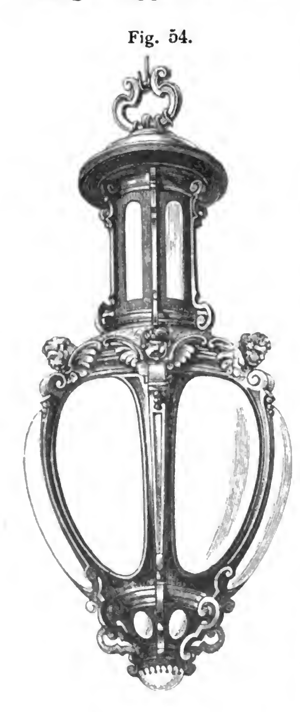
Sind die Kohlen ausgebrannt, so legen sich die Contactstücke *a a* gegeneinander und schalten die Lampe aus, indem sie den +-Pol mit dem —-Pole unter Einschaltung des Widerstandes *s* unter einander verbinden.

Sollen die Lampen parallel geschaltet werden, so erfährt sowohl ihre Construction als auch ihre Function noch weitere Vereinfachungen. Es mag hier nur noch angedeutet werden, dass in diesem Falle der Widerstand *s* und der Elektromagnet *c* mit seinem Platincontacte wegbleiben, und dass überdies die Spule *N* nur eine einfache Wicklung erhält.

In Fig. 54 ist endlich eine ornamentirte Lampe dargestellt, wie solche bei der Wiener elektrischen Ausstellung in Betrieb gesetzt waren. Um hierbei das Schattenwerfen der Metallrippen zu vermeiden, sind die sechs matten Glasstücke zwischen den Rippen stark gewölbt. Da hierdurch die leuchtenden Flächen weiter

nach aussen hin zu liegen kommen als die undurchsichtigen Rippen, so überkreuzen sich die Lichtstrahlen über diesen und heben dadurch die Schattenbildung auf.

Fig. 54.



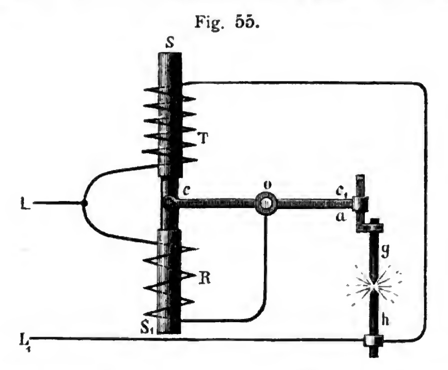
Differentiallampe von Siemens & Halske.

Bei der Differentiallampe von der Firma Siemens & Halske, welche von Hefner v. Alteneck construirt wurde, besorgt die Schwerkraft den Nachschub der Kohlen, während der Regulirungsmechanismus nur die Art und Zeit der Bewegung bestimmt. Hier kommen wegen dieses Umstandes auch keine für die Anziehung verschieden günstigen Stellungen der Eisenkerne zu den Solenoiden vor. In welcher Art hierbei von der Stromverzweigung Gebrauch gemacht wurde, möge mit Hilfe des Schemas, Fig. 55, erörtert werden.

$S S_1$ ist ein Stab aus weichem Eisen, der an dem um o drehbaren Hebel befestigt ist, T stellt eine Neben-

schliessung von hohem Widerstande im Verhältnisse zum Stromweg in der Lampe und auch zum Lichtbogen vor, *R* ein in den Hauptstrom eingeschaltetes Solenoid von geringem Widerstande. Die Windungen der beiden Solenoide sind so angeordnet, dass diese den Eisenstab in entgegengesetzten Richtungen anzuziehen suchen, daher mit der Differenz ihrer anziehenden Kräfte, d. h. Stromstärken, wirken. Es wird in-

Fig. 55.



folge dessen auch die Regulirung des Lichtbogens stets das Resultat der Differentialwirkung beider Spulen sein.

Nehmen wir an, die beiden Kohlen *h* und *g* berühren sich nicht, sondern sind von einander in einer gewissen Entfernung. Der Strom geht dann von *L* durch die Spule *T* von hohem Widerstande zur unteren Kohle *h* und von da über L_1 zur Stromquelle zurück; dadurch wird der Eisenkern $S\,S_1$ magnetisch und in *T* hineingezogen, also das Hebelende c_1 in seine tiefste Stellung gebracht. Im selben Moment löst sich der

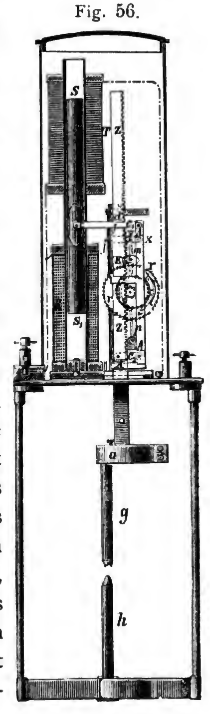
Kohlenhalter a vom Hebel $c c_1$ los und fällt langsam herunter, bis sich die beiden Kohlen treffen. Jetzt geht der Strom von L durch $R g h$ nach L_1; nun wirkt aber die Spule R auf den Stab $S S_1$, zieht diesen nach unten und der Lichtbogen entsteht. Im ersten Momente der Hebung stellt sich auch die Verbindung von a und c_1 wieder her. Im Stromkreise ist jetzt zum Widerstande R noch der Widerstand des Lichtbogens hinzugekommen und dieser wächst mit der Länge des Lichtbogens; dadurch wird der Strom in T wieder stärker und in R schwächer, bis bei einem bestimmten Widerstande des Bogens sich die von T und R ausgeübten Anziehungskräfte das Gleichgewicht halten.

Die Kohlenstäbe brennen langsam ab, aber die gleiche Bogenlänge stellt sich immer wieder her. Bei entsprechend höherer Stellung des Eisenstabes $S S_1$ sinkt c_1 bis in seine unterste Stellung, wo dann die Lösung der Kuppelung und Erneuerung des früheren Spieles erfolgt. Wird im Stromkreise ausserhalb der Lampe die Stromstärke verändert, so bringt dies allein in der Lampe keine Veränderung hervor, weil die Stromstärke in den beiden Spulen in gleichem Verhältnisse sich ändert.

Für die Grösse des Widerstandes, auf welchen der Bogen gebracht wird, ist das Verhältniss der Wirkungen der beiden Spulen R und T auf den Eisenkern maassgebend. Es wird voraus bestimmt durch Wahl des entsprechenden Widerstandes, die Zahl der Windungen oder mehr oder weniger tiefes Eintauchen des Stabes in die Spulen. Zu diesem Zwecke ist die obere Spule verstellbar angebracht.

Die Lampe selbst (Fig. 56) zeigt, dass der Kohlenhalter $a\,Z$ nicht unmittelbar an den um d drehbaren Hebel $c\,c_1$ befestigt ist. Die Zahnstange Z hat ihre Führung in dem Theile A, welcher an dem Hebelende c_1 angehängt und durch eine Gelenkstange c_2 an seinem unteren Ende so geführt ist, dass sie bei den Schwingungen von $c\,c_1$ nur parallel mit sich selbst auf und abbewegt werden kann. Die Zahnstange kann an dem Theile A nur langsam abwärts gleiten, indem sie dabei das Steigrad r und das Echappement E in Bewegung und dadurch das Pendel p mit seinem nach oben gehenden Arme m in Schwingung setzen muss, welche Theile sämmtlich an A gelagert sind und mit ihm auf- und abwärts gehen. In einer gehobenen Lage des Stückes A ist der Arm m durch eine Kerbe in dem kleinen Hebel y, welcher bei x gleichfalls an das Stück A gelagert ist, festgehalten und damit das Echappement arretirt und die Zahnstange mit A verkuppelt.

Fig. 56.



Wenn aber A und somit y sich der untersten Stellung nähert, so wird der letztere durch einen am Gestell festsitzenden Stift ausgehoben und das Echappe-

ment, sowie die Zahnstange *x* von *A* frei, worauf die früher beschriebene Nachschiebung der Kohlen stattfindet.

Jede Lampe regulirt sich mit Rücksicht auf die Stromstärke; man kann daher eine Reihe von Lampen in einem Stromkreise oder auch in mehreren Stromkreisen einer Maschine einschalten, in Parallel- oder Zweigleitungen; in letzterem Falle erhält man verschieden intensive Lichter. Wenn in einer Lampe die Kohlen abgebrannt sind, so erlischt sie und der Strom geht durch die Spule von grossem Widerstande; um diesen Stromverlust zu vermeiden, wendet Siemens noch eine Contactvorrichtung an, welche einen kurzen Schluss bewirkt.

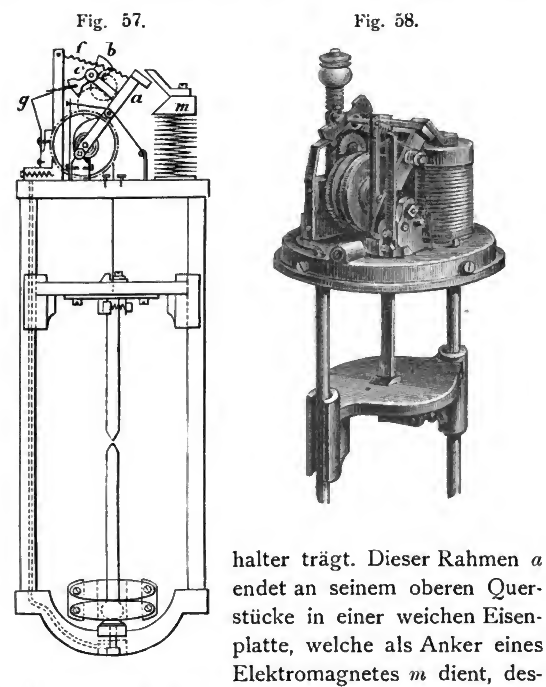
Bei den Differentiallampen älterer Construction ist die untere Kohlenelektrode fest. Jetzt wird die untere Kohle in eine Hülse gesteckt, in der sich eine Spiralfeder befindet, welche die Kohle nach aufwärts drückt. Oben wird die Kohle gehemmt durch einen (bei Abnützung leicht auswechselbaren) Kupferring, dessen innerer Durchmesser nahezu dem Durchmesser der Kohle gleichkommt. Dadurch kann immer nur der konisch zugespitzte Theil hervortreten. Die Länge jeder Kohle beträgt 40 *cm*, die Brenndauer einer Lampe acht Stunden.

Bandlampe von Siemens und Halske.

Die Lampendeckplatte (Fig. 57) trägt einen um eine horizontale Axe drehbaren Rahmen *a*, in welchen ein Laufwerk eingelagert ist. Dieses bewirkt mittelst der durch den Balancier *b* pendelnden Hemmung *c* den

intermittirenden Umlauf einer Trommel, um welche ein Kupferband geschlungen ist, welches den oberen Kohlen-

Fig. 57. Fig. 58.



halter trägt. Dieser Rahmen *a* endet an seinem oberen Querstücke in einer weichen Eisenplatte, welche als Anker eines Elektromagnetes *m* dient, dessen Wicklung einen Nebenschluss zum Lichtbogen der Lampe bildet.

Wird die Lampe in den Stromkreis eingeschaltet, so findet der elektrische Strom zunächst nur durch

die dünnen Windungen des Elektromagnetes *m* einen Weg. Dieser Magnet zieht seinen Anker, die weiche Eisenplatte an, und der Rahmen *a* neigt sich. Hierdurch wird bei *g* das Laufwerk ausgelöst und durch das Eigengewicht des niedersinkenden oberen Kohlenhalters unter Vermittlung der pendelnden Hemmung *c* in langsame Umdrehung versetzt. Die obere Kohle sinkt nunmehr so lange, bis sie die untere Kohle berührt; sowie jedoch die Berührung stattfindet, nimmt der Strom den kürzeren Weg durch die Kohlen, und die Spule des Elektromagnetes wird daher stromlos. Der Rahmen *a*, welcher jetzt nicht mehr von *m* angezogen wird, folgt dem Zuge der Feder *f*; dadurch wird die Trommel ein Stück zurückgedreht, die obere Kohle etwas gehoben und der Lichtbogen gebildet. Dann stellt sich alsbald ein Gleichgewichtszustand zwischen der Zugkraft der Feder *f* und der Anziehungskraft des Elektromagnetes *m* her. Wächst infolge des Abbrandes der Kohle der Widerstand des Lichtbogens, so nimmt die Stromstärke in den Windungen des Elektromagnetes *m* zu, die Anziehungskraft wächst, der Rahmen *a* wird so lange angezogen, bis das Laufwerk bei *g* ausgelöst wird und die Kohle neuerdings sinkt. Sowie aber der Lichtbogen sich verkleinert hat, nimmt die Anziehung des Elektromagnetes *m* wieder ab, der Rahmen *a* steigt wieder auf und das Laufwerk wird durch den Anschlag bei *g* auf's Neue gehemmt.

In dieser Weise wiederholt sich das Spiel, bis die Kohlen vollständig abgebrannt sind. Fig. 58 zeigt die perspectivische Ansicht der beschriebenen Regulirungsvorrichtung. Die Lampe ist selbstverständlich auch mit

Vorrichtungen versehen, um den Strom zu unterbrechen, wenn die Kohlen abgebrannt sind.

Man rühmt der Bandlampe nach, dass sie ohne jede Veränderung für ganz verschiedene Stromstärken benützt werden kann und infolge ihres ungemein empfindlichen Regulirungsmechanismus fast fortwährend dem Lichtbogen die richtige Länge ertheilt und denselben nicht nur stossweise regelt.

Lampe von Zipernowsky.

Auch die von Zipernowsky (Firma Ganz & Co.) construirte Lampe bewirkt den Nachschub der Kohlen durch die Schwerkraft und regelt die Bewegung durch die wechselnde Kraft von Solenoiden. Das Parallelogramm *mn* (Fig. 59) ist auf einer Seite des Hebels *mm* befestigt, welcher sich um eine horizontale, auf den Säulen *MM* gelagerten Axe drehen kann. An der entgegengesetzen Seite des Hebels ist der Eisenkern für das Solenoid *E* angebracht. Den oberen Kohlenträger bildet die Zahnstange *Z*, welche vermöge ihres Gewichtes herabrückt, wenn das Räderwerk *r* mit dem Windflügel *c* nicht gehemmt wird. Das Solenoid *E* besitzt einen erheblichen Widerstand und ist in einen Nebenschluss zum Hauptstromkreise geschaltet. Die Feder *R*, im selben Sinne wie die Anziehungskraft des Solenoides *E* wirkend, strebt die obere Kohle zu senken, während das Gewicht des Eisenkernes im Solenoide diesem Bestreben entgegenwirkt. Infolge der letzten Wirkung wird anfänglich der Rahmen *mn* mit dem Räderwerke *r* gehoben und dadurch das Sternrad *s* mit einer Sperrklinke in Eingriff gebracht. Daher kann

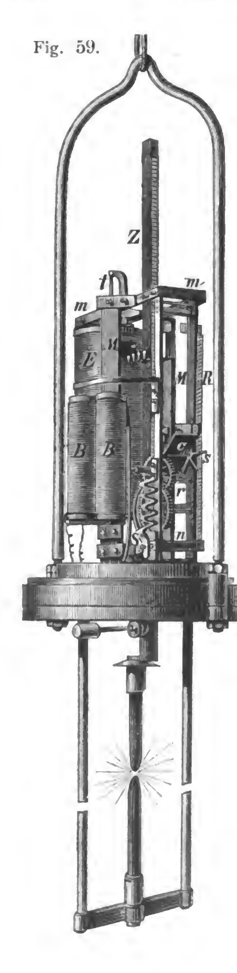


Fig. 59.

sich weder das Räderwerk bewegen noch die Zahnstange mit der oberen Kohle senken.

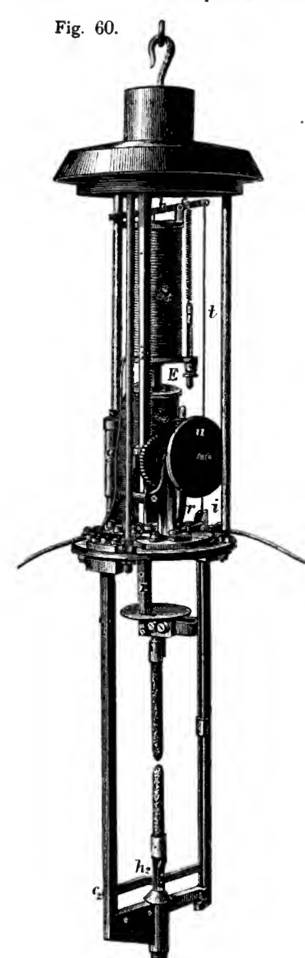
Leitet man nun einen Strom durch die Lampe, so kann dieser nur durch das Solenoid *E* gehen; dieses zieht seinen Kern an, ihn von unten nach oben bewegend, und senkt hierdurch etwas den Rahmen *m n*, wodurch das Räderwerk *r* freigegeben wird und die Zahnstange mit der oberen Kohle herabfallen kann, bis diese die untere Kohle berührt. Der Windflügel *c* verhindert eine zu rasche Bewegung der Stange. Sobald die beiden Kohlen sich berühren, fliesst sofort fast der ganze Strom durch diese, und das Solenoid wird bedeutend geschwächt. Das Parallelogramm steigt daher wieder nach aufwärts und nimmt die obere Kohle mit, weil eben durch das Steigen das Räderwerk neuerdings durch die vorerwähnte Sperrklinke arretirt wird; die Kohlen entfernen sich also von einander und der Lichtbogen entsteht. Im sel-

ben Maasse, als nun die Kohlen abbrennen, wächst der Widerstand im Voltabogen, weshalb die Stromstärke im Solenoide E zunehmen muss, bis endlich die Anziehungskraft desselben hinreicht, um durch Hebung seines Eisenkernes den Rahmen mn zu senken, und so das Räderwerk freizugeben; die Zahnstange mit der oberen Kohle kann nun abermals nachrücken, bis wieder die normale Bogenlänge hergestellt ist. Um eine zu heftige oder ruckweise Bewegung des Eisenkernes zu vermeiden, ist an der Stange t ein Kolben angebracht, der sich im oberen mit einer Kupferröhre versehenen Theile des Solenoides E nach Art des Kolbens einer Luftpumpe bewegt und so die Bewegung gleichmässiger macht. Sind die Kohlen abgebrannt, so wird ein Zweigstrom durch den Elektromagnet BB geleitet, veranlasst diesen seine Armatur anzuziehen und dadurch den Rahmen mn zu senken. Die Feder S gelangt dann zur Berührung mit der Grundplatte der Lampe und bewirkt dadurch einen kurzen Stromschluss.

Lampe von Schwerd und Scharnweber.

Auch bei dieser Lampe wird das Nachschieben der Kohlen wieder durch das Gewicht des oberen Kohlenträgers bewirkt und den Differentialspulen nur das Anzünden der Lampe und die Regulirung der Nachschubbewegung übertragen. Sobald die Lampe in den Stromkreis eingeschaltet wird, geht der Strom durch die wenig Widerstand darbietende, in den Hauptstromkreis geschaltete Spule S_1 (Fig. 60) und veranlasst dadurch eine Aufwärtsbewegung des Eisenkernes E. Der Eisenkern hängt bei h an den um c_1 drehbaren

Fig. 60.



Hebel; am entgegengesetzten Ende desselben ist die Zugstange *t* befestigt, welche an ihrem unteren Ende mit den um c_2 drehbaren Hebel verbunden ist, welcher bei h_2 die untere Kohle trägt. Diese muss infolge der Aufwärtsbewegung von *E* offenbar nach abwärts bewegt werden, d. h. also die beiden Kohlen entfernen sich von einander und der Lichtbogen entsteht. Die Zahnstange *Z Z* des oberen Kohlenträgers greift in ein mit Hemmrad und Sperrklinke *r* versehenes Räderwerk ein und kann daher nur dann herabsinken, wenn die Sperrklinke das Räderwerk freigibt. Dies ist jedoch in dem eben betrachteten Stadium nicht der Fall, weil ein an der Zugstange *t* bei *i* angebrachter Ansatz eben durch das Herabbewegen der Stange ge-

gen die Sperrklinke drückt und dadurch das Räderwerk festhält.

Die Kohlen brennen ab und vergrössern hierdurch den Widerstand des Lichtbogens; es muss daher die Stromstärke in der Hauptschluss-Spule S_1 in demselben Grade abnehmen und in der Nebenschluss-Spule S_2 zunehmen. Der Eisenkern E wird sich nach unten bewegen und vermöge der durch die Zugstange t mit einander verbundenen Hebel $c_1 h_1$ und $c_2 h_2$ die untere Kohle heben. Hierdurch muss sich aber auch der Ansatz bei i von der Sperrklinke r entfernen, also muss auch das Räderwerk frei werden und dem oberen Kohlenträger nachzusinken gestatten. Damit wird wieder die normale Länge des Lichtbogens hergestellt und der Hauptstrom abermals durch S_1 geleitet, was ein Senken der Stange t und somit eine neuerliche Hemmung des Räderwerkes zur Folge hat. Um ein rasches Herabfallen des oberen Kohlenträgers zu verhindern, ist das Räderwerk mit dem verhältnissmässig schweren Schwungrade u versehen, welches nach Art der Unruhe einer Uhr die Bewegung zu einer gleichmässigen macht. Eine zu rasche oder plötzliche Bewegung des Eisenkernes E wird dadurch verhindert, dass an dem oberen Hebel bei b die Kolbenstange des in einem mit Glycerin gefüllten Cylinder g beweglichen Kolbens angehängt ist.

* * *

Eine Gruppe von Bogenlampen, bei welchen zwar auch, wie bei der vorhergehenden, der Nachschub der Kohlen durch die Schwere des Kohlenträgers bewirkt

und durch Differential-Solenoide geregelt wird, zeichnet sich hingegen durch die charakteristische Art der Hemmung dieser Bewegung aus; diese besteht nämlich in der Anwendung eines Hemmringes, beziehungsweise einer Hemmscheere oder Klaue. Von diesen Lampen möge zunächst die Lampe von Brush beschrieben werden.

Lampen von Brush.

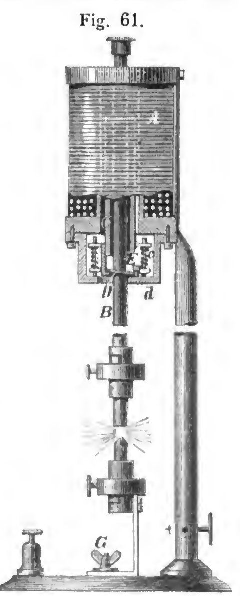
Die Construction derselben soll an dem einfachsten, früher für Einzellicht bestimmten älteren Modelle (Fig. 61) erläutert werden.

Eine verticale Messingsäule trägt an ihrem oberen Ende ein Solenoid *A* mit wenigen Windungen eines dicken Drahtes. Der Kern des Solenoides besteht aus einer schmiedeeisernen Röhre *C*, deren Gewicht zum Theile durch Spiralfedern *c* ausbalancirt ist. Unten an diese angebrachte Schrauben *d* erlauben die Spannung der Federn zu reguliren. Innerhalb des Eisencylinders befindet sich frei beweglich der Träger *B* der oberen positiven Kohle. Der untere Kohlenträger ist durch Schraube *G* mit seinem Fusse verstellbar. Der Eisencylinder *C* trägt einen Haken, der unterhalb des Ringes *D*, durch welchen der obere Kohlenträger frei hindurchgeht, eingreift.

Wenn das Solenoid stromlos ist, so liegt der Ring *D* auf der Grundplatte des Gehäuses auf und der obere Kohlenträger fällt frei herunter, bis seine Kohle auf die untere Kohle trifft. Werden jedoch die Klemmen + und — mit den entsprechenden Polen einer Elektricitätsquelle verbunden, so geht der Strom

durch die verticale Säule in das Solenoid, von diesem in die obere Kohle und durch die untere Kohle zur zweiten Klemme. Dann zieht das Solenoid das Eisenrohr *C* hinein und hebt mittelst seines Hakens den Ring *D* einseitig; die Kanten der Ringöffnung fassen den Kohlenträger *B* und dieser, so am Hinabgleiten gehindert, muss vielmehr die Aufwärtsbewegung des Cylinders *C* mitmachen, also die beiden Kohlen von einander entfernen. Der auf diese Weise erzeugte Lichtbogen wird mit dem Abbrennen der Kohlen immer länger, der Strom im Solenoid aber durch den in solcher Art vermehrten Widerstand des Schliessungsbogens immer schwächer und deshalb wird auch der Cylinder *C* langsam herabsinken; dadurch wird aber der Ring sich wieder horizontal auf die Grundplatte des Gehäuses auflegen können, und damit dem Träger *B* ein neuerliches Herabsinken, also Näherbringen beider Kohlen gestatten. Dann wird aber der Strom sofort wieder wachsen und das Solenoid den Eisencylinder unter Mitnahme des Ringes neuerdings heben. Die Bewegung des Ringes nach oben ist durch die verstellbare Anschlagschraube *E* begrenzt. Bei

Fig. 61.



normaler Function der Lampe wird die ganze Bewegung darin bestehen, dass der Ring in regelmässigen Zwischenpausen einseitig gehoben wird und das Nachsinken der oberen Kohle zeitweise hindert.

Die Lampen für Theilungslicht haben ganz denselben Regulirungsmechanismus, nur das Solenoid *A* besitzt doppelte Windungen, von welchen die inneren, aus dickem Drahte gebildet, in den Hauptstromkreis, die äusseren, bestehend aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes, derart in einem Nebenschlusse angebracht sind, dass die Stromrichtung in der äusseren jener in der inneren Spule entgegengesetzt ist. Das Solenoid wirkt dann immer mit der Differenz der magnetischen Momente beider Ströme, und zwar in folgender Weise: Wenn sich anfangs beide Kohlen berühren, wird zunächst ein kräftiger Strom durch die Spirale aus starkem Drahte, ein sehr schwacher Strom durch die im Nebenschlusse befindliche Spirale aus dünnem Drahte fliessen. Der Eisencylinder wird mit der Differenz der beiden magnetischen Momente in das Solenoid hineingezogen, und bildet durch Hebung des oberen Kohlenträgers den Lichtbogen. In dem Maasse, als dieser die Kohlen verzehrt, wächst der Widerstand im Hauptstromkreise und sinkt daher dessen Stromstärke; im Nebenschlusse, der feindrähtigen Spirale, wird hingegen der Strom wachsen. Die Differenz der magnetischen Momente beider Spiralen wird immer kleiner, daher ihre Anziehungskraft auf den Eisencylinder immer schwächer; dieser sinkt herab, der Ring stellt sich mehr und mehr horizontal und lässt den oberen Kohlenhälter nachsinken.

Um ein zu rasches Nachsinken des Kohlenträgers zu verhüten, ist derselbe als Röhre geformt und mit Glycerin gefüllt; in dasselbe taucht ein Kolben mit versetzten Bohrlöchern, dessen Stange am oberen Theile der Lampe befestigt ist; da die Röhre (der Kolbenträger) nur mit der Schnelligkeit sinken kann, als das Glycerin durch den Kolben fliesst, ist hiermit eine Dämpfung der Bewegung erreicht. Die Lampe ist ferner mit einem zweiten Nebenschlusse ausgerüstet, dessen Zweck darin besteht, eine Lampe, welche aus irgend einer Ursache verlischt, aus dem Stromkreise auszuschalten, ohne das Brennen der übrigen Lampen zu stören. Hierzu wird ein Elektromagnet verwendet, der gleichfalls mit dicken und dünnen Drähten umwunden ist. Wird nun aus irgend einem Grunde der Hauptstrom in der Lampe unterbrochen, so geht ein kräftiger Strom durch den dünnen Draht dieses Elektromagnetes; dieser zieht seinen Anker an und schaltet hierdurch die Spirale mit dickem Draht in den Stromkreis ein. Der Strom geht nun durch den Anker der Ausschaltevorrichtung, durch die wenigen Windungen dicken Drahtes derselben und zur nächsten Lampe. Die Spirale mit dünnem Drahte wird stromlos und dadurch einem unnützen Stromverluste vorgebeugt.*)

Die Lampen werden mit schwach verkupferten Kohlenstäben von 12 *mm* Durchmesser und 0·305 *m*

*) Eingehendere Angaben über diesen Ausschalter findet man in der »Elektrotechnischen Zeitschrift« 1882, S. 228 u. f., der auch die Beschreibung der Lampe mit Doppelkohlen entlehnt ist.

Länge versehen. Bei der Anwendung eines Stromes von 10 A haben sie eine Brenndauer von acht Stunden.

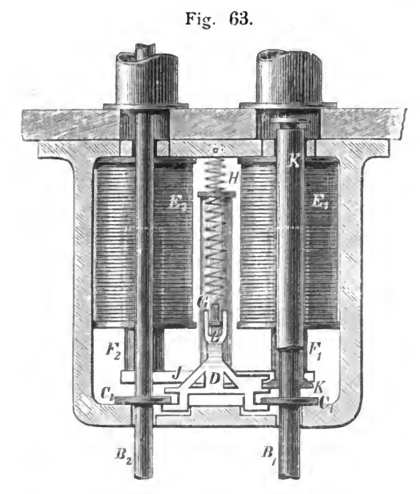
Für grössere Brenndauer construirte Brush-Lampen mit zwei oder mehreren Kohlenpaaren. Eine Lampe mit zwei Kohlenpaaren ist in Fig. 62, als Strassenlaterne montirt, abgebildet, und Fig. 63 zeigt die Construction ihres Regulirungsmechanismus. Zwei neben einander stehende Kernspulen $E_1 E_2$, in welche zwei unter sich verbundene, einem Hufeisen-Elektromagnete ähnliche Eisenkerne F_1 F_2 hineinragen, sind mit einigen Windungen dicken und vielen Windungen dünnen Drahtes bewickelt. Der dicke Draht führt den Strom dem Lichtbogen zu, der dünne bildet einen Nebenschluss zur ganzen Lampe. Die Verbindungen sind in der Weise gemacht, dass beide Wicklungen im entgegengesetzten Sinne von den Strömen durchflossen werden, so dass der Zweigstrom die Wirkung des Hauptstromes schwächt. Die Widerstände und Windungszahlen sind so bemessen, dass bei der normalen Länge des Lichtbogens (2 *mm*) die Wirkung des Hauptstromes stärker ist als diejenige des Zweigstromes, da

Fig. 62.



er einem Theile des Gewichtes der Kohlen und Kohlenhälter das Gleichgewicht zu halten hat. Infolge der eigenen Schwere berühren sich die Kohlenstäbe; tritt ein Strom in die Lampe, so ziehen die Spulen die Eisenkerne in sich hinein, die Kohlen werden vermittelst der Klemmringe von einander entfernt, bis

Fig. 63.



durch Zunehmen des Bogens und durch hiermit bedingtes Wachsen seines Widerstandes der Zweigstrom so stark wird, dass der Eisenkern nicht weiter gehoben wird, der Lichtbogen also eine bestimmte Länge erreicht.

Nachdem der Hauptstrom die beiden Spulen, deren dicke Windungen einander parallel geschaltet sind, durch-

laufen hat, gelangt er auf den Lampenkörper, von da durch feindrähtige, in der Figur nicht angegebene Metallpinsel auf die oberen Kohlenhälter, durch den Lichtbogen zur unteren Kohle und von da zur Ableitungsklemme. Die beiden vereinigten Eisenkerne F_1 F_2 wirken an einem einarmigen Hebel L; derselbe trägt an einem Ende die bereits beschriebene Glycerindämpfung, ferner eine Spiralfeder H, durch die ein Theil des Gewichtes der Kohlen, Kohlenhälter u. s. w. ausgeglichen ist, und endlich nahe seinem Drehpunkte einen kleinen Rahmen D, durch den die Klemmringe C_1 und C_2 gehoben werden. Dadurch, dass der eine Einschnitt des Rahmens etwas weiter ist als der andere, wird bewirkt, dass die eine Kohle früher gehoben wird als die andere, weil der engere Einschnitt den in ihm liegenden Ring früher erfasst, als dies der weitere thut. Beim Abwärtsgehen des Rahmens wird diese zuletzt erfasste Kohle frei gemacht, während die andere noch festgeklemmt ist. Durch das Abbrennen der Kohle würde der Lichtbogen länger und länger werden, wenn nicht in demselben Maasse, als der Lichtbogenwiderstand steigt, die Zweigleitung mehr Strom erhielte und dadurch ein entsprechendes Sinken der Kohle bewirkt würde. So wird zunächst nur die eine Kohle nachregulirt, bis sie so weit abgebrannt ist, dass sich ein an der betreffenden Stange befindlicher Knopf auf das sie umgebende und auf dem Rahmen aufliegende Rohr K stützt. Die Kohle kann nun nicht weiter nachrücken.

Bei weiterem Abbrennen der Kohle und demzufolge durch die Spulen bewirktem Sinken des Rahmens wird der zweite Kohlenhälter frei gemacht;

diese Kohlen kommen zur Berührung, der Lichtbogen geht auf diese über und das Nachreguliren der zweiten Oberkohle nimmt seinen Verlauf, wie vorher für die erste. Damit sich die Kohlen beim Nachrücken nicht zu schnell bewegen, sind die von den Klemmringen umgebenen Stangen ebenfalls mit Glycerindämpfung versehen.

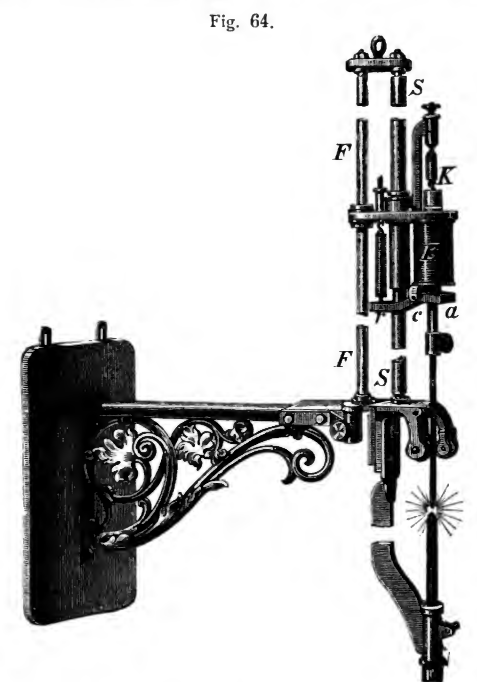
Ist das letzte Kohlenpaar so weit abgebrannt, dass die obere Kohle nicht weiter nachrücken kann und der Lichtbogenwiderstand über sein gewöhnliches Maass gewachsen ist, so tritt die vorhin beschriebene Ausschaltevorrichtung in Thätigkeit.

Lampen von Gérard.

Bei Gérard's Lampen wird der Kohlennachschub gleichfalls durch den vermöge seiner Schwere herabsinkenden Kohlenträger veranlasst und die Hemmung dieser Bewegung durch einen Hemmring bewirkt bei dem kleinen Modelle, durch eine Art Scheere bei den grösseren Modellen. Bei dem ersterwähnten Modelle (lampe à glissière) Fig. 64 ist der obere Kohlenträger an dem Eisenkerne K im oberen Theile des Elektromagnetes E befestigt, während die Armatur a an der unteren Seite des Elektromagnetes die eine Seite des um c drehbaren Hebels bildet, dessen andere Seite r die Gleitstange S ringförmig umfasst. Die bei r angebrachte Spiralfeder wirkt der Anziehung des Elektromagnetes E auf a entgegen. Ist der Magnet stromlos, so zieht die Spiralfeder den Hebel auf der linken Seite nach aufwärts und der Ring klemmt die Gleitstange S; fliesst hingegen durch E ein genügend starker Strom,

so wird a angezogen, dadurch die Klemmung aufgehoben und der Elektromagnet, sammt Kohlenträger, Hebel und Spiralfeder gleitet an der Stange S herab.

Fig. 64.



Zur Vermeidung einer Drehung ist noch eine Führungsstange F angebracht.

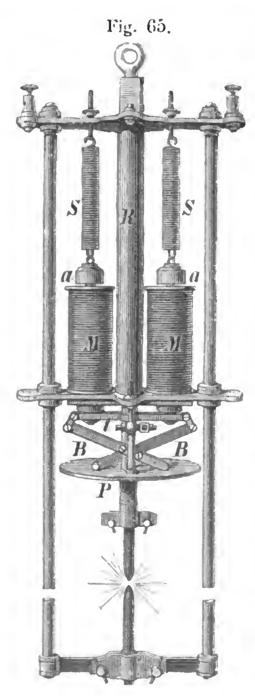
Soll die Lampe in Thätigkeit gesetzt werden, so bringt man zunächst die beiden Kohlen ausser Berührung.

Sie bleiben in dieser Lage, weil der Hemmring *r* infolge der Federwirkung die Stange *S* klemmt. Leitet man nun einen Strom durch die Lampe, so zieht das Solenoid den Eisenkern *K* nach abwärts und senkt dadurch die obere Kohle. An der Unterseite von *E* wird gleichzeitig der Anker *a* angezogen und dadurch die Bremsung bei *r* aufgehoben; der Elektromagnet gleitet daher mit der Kohle so lange herab, bis diese mit der unteren Kohle zur Berührung kommt. Da der Elektromagnet im Nebenschlusse zu den Kohlen liegt, verliert er durch die Berührung der Kohlen seine Anziehungskraft. Der Anker *a* wird durch die Gegenfeder abgezogen und die Gleitbewegung durch Anlegen des Bremsringes an *S* unmöglich gemacht; gleichzeitig ist aber auch der Eisenkern *K* durch die ihn tragende Spiralfeder wieder aus dem Solenoide herausgehoben worden und hat dadurch die obere Kohle etwas gehoben, d. h. den Lichtbogen gebildet. Wird durch das Abbrennen der Kohlen der Widerstand im Voltabogen grösser, so nimmt die Stromstärke in *E* wieder zu und bewirkt hierdurch neuerdings die Aufhebung der Bremsung und somit ein Herabgleiten der oberen Kohle.

Bei dem für Wechselströme construirten Modelle (Fig. 65) hängen an den Spiralfedern *S S* die Armaturen *a a*, an welchen mittelst die hohlen Magnete *M M* durchsetzender Stangen die Traverse *t* befestigt ist. Letztere trägt die mit der Platte *P* verbundene scheerenförmige Bremse *B B*. Ist die Lampe stromlos, so sind die Anker *a a* durch die Federn *S S* von den Magneten *M M* abgezogen und bremsen hierdurch den oberen Kohlenträger. Schickt man nun einen Strom durch die

Lampe, so geht dieser nur durch die im Nebenschlusse liegenden Magnete *MM*, weil sich die beiden Kohlen nicht berühren. Hierdurch werden die Anker angezogen, senken den oberen Kohlenträger und heben die Bremsung auf: Die obere Kohle gleitet bis zur Berührung mit der unteren herab und bietet dadurch dem Strome einen Weg von geringem Widerstande, nämlich den durch die Kohlen dar. Weil nun durch die Elektromagnete nur mehr ein sehr schwacher Strom geht, werden die Anker durch die Spiralfedern abgezogen und heben dadurch, den Lichtbogen bildend, die obere Kohle, ohne die Bremsung aufzuheben. Letzteres bewirkt erst eine abermalige Stromzunahme in *MM* infolge des wachsenden Widerstandes im Lichtbogen durch Abbrennen der Kohlen. Um ein ruhiges Abwärtsgleiten des Kohlenträgers zu erreichen, endet dieser nach oben in einem Kolben, der sich im Rohre *R* mit sanfter Reibung bewegt.

Fig. 65.



Diese Lampe ist durch Gérard auch in die Form einer Differentiallampe gebracht worden. Hierbei be-

finden sich die Anker *a a* zwischen je zwei Elektromagneten, von welchen das obere Paar in den Haupt-, das untere Paar in einen Nebenstromkreis geschaltet ist.

Lampe von Weston.

Der Mechanismus dieser Lampe ist in Fig. 66 und ein Theil desselben in grösserem Maassstabe in Fig. 67

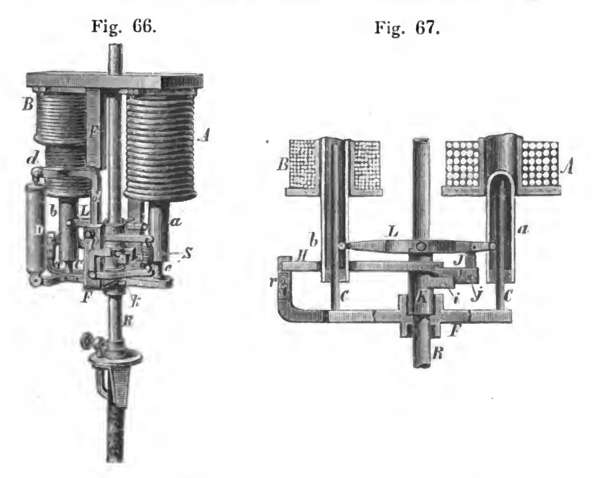


Fig. 66. Fig. 67.

dargestellt. Seine Wirkungsweise ist folgende:*) *A* stellt die dicke, mit der Hauptleitung verbundene, *B* die dünne im Nebenschlusse befindliche Differentialwindung vor. Es sind dies einfache Solenoide, versehen mit hohlen, aus weichem Eisen bestehenden Kernen *a* und *b*,

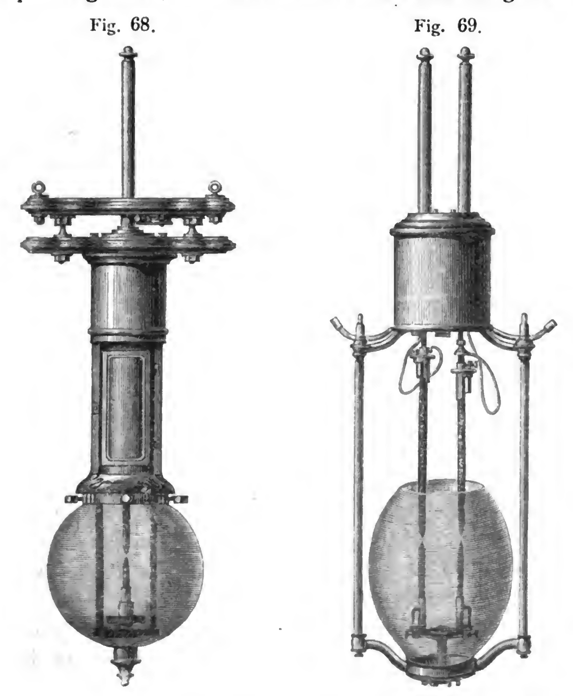
*) George B. Brescott: Dynamo-Electricity. New-York 1884. p. 495. Elektrotechnische Zeitschrift. VI. (1885), S. 105.

welche sich frei in ihnen bewegen und durch die Bolzen *CC* vertical geführt sind. Die Enden einer schwingenden Stange *L* ragen in jene Hohlkerne hinein, die Stange selbst dreht sich bei *P* um eine horizontale Axe, aus deren Nachbarschaft sich ein Arm erhebt, der bis zum Kolben der Kataraktpumpe *D* reicht.*) Ein anderer ähnlicher Arm trägt eine regulirbare Feder *S* und mit *R* ist der Kohlenträger bezeichnet. Mit dem oscillirenden Hebel *L*, dessen Enden durch die Kerne *a* und *b* gehoben und gesenkt werden, ist ein Glied *J* verbunden, welches zur Bewegung der Klaue dient. Diese besteht aus einer Hülse *K*, die frei auf dem Kohlenträger *R* schleift und durch einen Vorsprung nach einer Seite, bei *i* mit einem Kamm *l* verzapft ist, welch' letzterer durch eine Oeffnung in die Hülse hineinragt und an *R* anstösst. Das andere Ende des Kammes *l* ist durch das bei *j* mit *l* vereinigte Verbindungsglied *J* genöthigt, die Bewegung von *L* mitzumachen. Der Arm *H* am Kamm *l* verhindert durch Aufsitzen auf dem Anschlage *r* das allzu tiefe Herabsinken der Klaue und vermittelt das Oeffnen derselben. Wird infolge zu kleinen Widerstandes des Lichtbogens das Glied *J* gehoben, so wird der Kohlenträger *R* zwischen Kamm *l* und die entgegengesetzte

*) Der Kolben dieser Pumpe bewegt sich in einem mit Glycerin gefüllten Stiefel und besteht aus zwei Scheiben, deren jede mit drei um je 120° von einander entfernten Bohrungen versehen ist. Die obere Scheibe ist mit der Kolbenstange fest verbunden, während die untere um ihren Mittelpunkt gedreht werden kann. Je nachdem nun durch Drehung dieser Scheibe die beiderseitigen Bohrungen mehr oder minder vollkommen zur Deckung gebracht werden, desto stärker oder schwächer wird die Dämpfung.

innere Hülsenwand geklemmt und so mit emporgehoben. Wird das Glied *J* bei zu grossem Abstande der Kohlenspitzen gesenkt, so fallen Kamm und Kohlenträger so

Fig. 68. Fig. 69.



lange mit einander, bis durch Aufsitzen von *H* auf dem Anschlage *r* der Kamm *l* eine veränderte Lage gegen den Kohlenträger annimmt, d. h. denselben allein fallen lässt.

In Fig. 68 ist eine äussere Ansicht der Bogenlampe dargestellt, wie sie in letzter Zeit aus den Newarker Werken hervorgehen, in Fig. 69 ist die Ansicht einer Doppellampe.

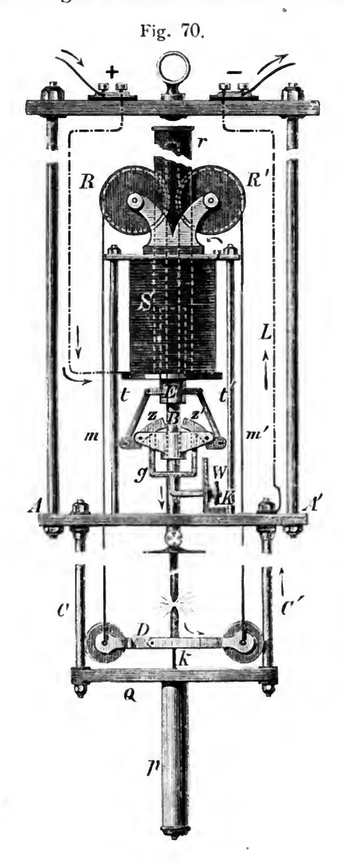
Lampe von Egger, Kremenezky & Co.

Diese Lampe ist in ihrer Construction für Einzellicht in Fig. 70 dargestellt. Mit der Grundplatte *A A'* verschraubte Säulchen tragen das Solenoid *S*, in dessen Innerem das Eisenrohr *E* auf- und abgleiten kann; innerhalb dieses Rohres ist der obere Kohlenträger *B* frei beweglich. Das Rohr ist an seinem unteren Ende mit Sperrklinken, einem sogenannten Frosche, versehen, der durch Anlegen der Theile *zz'* an den oberen Kohlenträger *B* diesen nöthigt, an den Bewegungen des Rohres *E* theilzunehmen. Diese Klemmung wird aufgehoben, wenn das Eisenrohr und mit ihm der Frosch so weit sinkt, dass die Stücke *zz'* gegen die an dem Winkelstücke *W* durch die Schraube *K* in einem Schlitze verstellbar befestigte Gabel stösst. Der untere Kohlenträger *D* ist durch Schnüre *mm'*; die über die Rollen *RR'* laufen, verbunden; er wird unten durch Rollen geführt, die auf den an der Platte *A A'* isolirt befestigten Säulen *C C'* gleiten. An dem die letzteren verbindenden Querstück *Q* ist eine Art Quecksilberpumpe *p* als Dämpfung für die Bewegungen der Kohlen angebracht; der Kolben dieser kleinen Pumpe hängt an der Stange *k*.

Hiernach fungirt die Lampe in folgender Weise: Vor Einleitung des Stromes berühren sich die beiden Kohlen, weil einerseits *E* herabsinkt und dadurch die

Sperrklinken zz' geöffnet werden und anderseits der obere Kohlenträger schwerer ist als der untere. Tritt

Fig. 70.



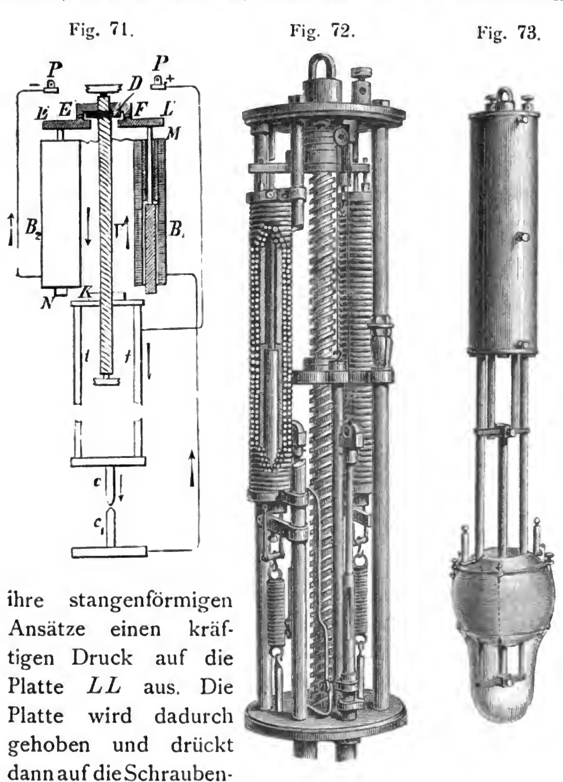
nun der Strom durch die + Klemme in die Lampe ein, so gelangt er in das Solenoid *S*, geht dann in die Masse der Lampe, von hier zur oberen Kohle, dann durch die untere Kohle in die Quecksilberpumpe und verlässt durch die Säulen und eine Klemme die Lampe. Das Solenoid zieht das Eisenrohr *E* hinein, schliesst dadurch den Frosch und hebt den oberen Kohlenträger, wodurch der Lichtbogen gebildet wird. Durch das Abbrennen der Kohlen wächst der Widerstand und sinkt die Stromstärke im Stromkreise; das Solenoid verliert an Kraft, lässt *E* sinken und bewirkt dadurch ein theilweises Oeffnen des Frosches, worauf der obere Kohlenträger frei wird, nachsinken und den unteren Kohlenträger heben kann.

Lampe von Cance.

Bei der Lampe von Cance (Fig. 71, 72 und 73), bei welcher gleichfalls die Schwere des Kohlenträgers den Nachschub bewirkt, besteht der Bremsring, wenn man ihn hier noch so nennen darf, in einer Schraubenmutter *EF*, in welcher sich die Schraubenspindel *V* drehen kann. Der obere Kohlenträger *tt* hängt an dieser durch die an ihm befestigte Schraubenmutter *K*. Geht kein Strom durch die Lampe, so gleitet der Kohlenträger vermöge seines Gewichtes herab, muss aber hierbei durch die Schraubenmutter *K* die Spindel *V* in Umdrehung versetzen. (Die langgezogene Schraube hat die Form der Schraube eines Drillbohrers.) Verbindet man jedoch die Polklemmen *PP* der Lampe mit einer Stromquelle, so geht der Strom in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung durch die Lampe.

Die Elektromagnete B_1 B_2 ziehen ihre Kerne N N hinein, d. h. nach oben, und diese üben dann durch

Fig. 71. Fig. 72. Fig. 73.



ihre stangenförmigen Ansätze einen kräftigen Druck auf die Platte LL aus. Die Platte wird dadurch gehoben und drückt dann auf die Schraubenmutter EF, die früher auf der an der Spindel befestigten Platte D aufruhte. Durch diesen nach oben gerichteten

Druck wird die Spindel *V* in Drehung versetzt. Die Richtung dieser Umdrehung muss jener Drehungsrichtung entgegengesetzt sein, welche durch die Abwärtsbewegung der unteren Schraubenmutter *K* bewirkt wurde, weil ja die beiden Schraubenmuttern sich nach entgegengesetzten Richtungen auf derselben Schraube bewegen, d. h. also, die Aufwärtsbewegung der Mutter *EF* muss die Spindel derart drehen, dass die Mutter *K* und mit ihr der obere Kohlenträger gehoben wird. Hierdurch bildet sich aber der Lichtbogen. Das Abbrennen der Kohlen und hierdurch bedingte Anwachsen des Widerstandes im Lichtbogen schwächt die Stromstärke und somit auch die Kraft des Solenoides, der Druck von *LL* gegen *EF* lässt nach und die Schraube *V* kann wieder durch das Herabgleiten des schweren Kohlenträgers *tt* gedreht werden.

* * *

Bei den Lampen, welche nachstehend näher beschrieben sind, wird die Bewegung der Kohlen gleichfalls durch das Gewicht des Kohlenträgers bewirkt, die Hemmung aber erfolgt durch magnetische Bremsung. Die Zahl der hierher gehörigen Bogenlampen ist gleichfalls eine bedeutende und können daher nur einige derselben vorgeführt werden. Es mögen zunächst zwei Lampen beschrieben werden, welche, abgesehen von der magnetischen Bremsung, in ihrer sonstigen Construction sehr viel Aehnlichkeit mit der vorbeschriebenen Cance-Lampe besitzen.

Lampen von Gimé und von Chauvet-Aléamet.*)

Bei der Lampe von Gimé (Fig 74) ist der obere Kohlenträger an der Schraubenspindel *a* befestigt, welche das Solenoid *d* durchsetzt und oben in einen Kolben endet, der die Dämpfung der Bewegung bewirkt. Das Eisenrohr *e* bildet den Kern des Solenoides und wird sammt seinen Polansätzen *c* von den Federn *i* gehalten. Unterhalb *c* befindet sich die Schraubenmutter *b*, in Form einer mehrfach eingeschnittenen Eisenplatte; *b* und *c* zusammen bilden die magnetische Bremse. Fliesst durch das Solenoid ein Strom, so werden Kern *e* und Schraubenmutter *b* angezogen und gehoben; da letztere durch die Anziehung festgehalten wird, nimmt sie auch den oberen Kohlenträger *a* mit und erzeugt hierdurch den Lichtbogen. Wird hingegen der Strom schwächer, so löst sich die Schraubenmutter *b* von *c* los und lässt dann, sich selbst drehend, die obere Kohle so weit herabgleiten, dass wieder die normale Bogenlänge hergestellt wird; die Feststellung der Bogenlänge überhaupt erfolgt durch entsprechende Einstellung der oben und unten an den Federn *i* befindlichen Stellschrauben. Diese Lampe ist, mit Beibehaltung desselben Mechanismus, auch als Differentiallampe gebaut worden.

Die Bogenlampe von Chauvet-Aléamet (Fig. 75 und 76) besteht aus einer Bronzespindel *B*, welche an ihrem oberen Ende die Scheibe *P* trägt und oben und unten sich um Spitzen, also ausserordentlich leicht

*) La lumière électrique, T. XXVIII (1888), p. 328; T. XXXIII (1889), p. 72.

drehen kann. Der obere Kohlenträger hängt an der Mutter *C* dieser Schraubenspindel und ist derart geführt, dass er zwar auf- und abgleiten, aber sich

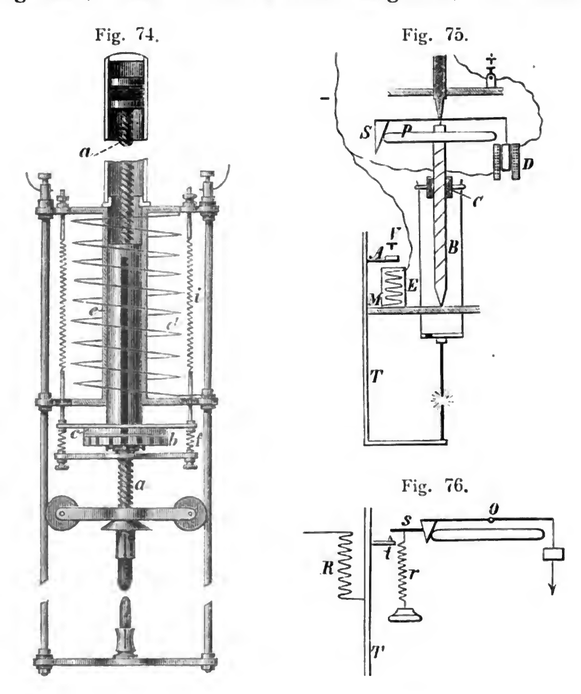


Fig. 74. Fig. 75. Fig. 76.

nicht drehen kann. *S* ist der am Rande der Scheibe angreifende Hemmschuh der magnetischen Bremse. Wenn die Lampe stromlos ist, ist der Hemmschuh von der Scheibe abgehoben, so dass sich also die Spindel

frei drehen und daher der obere Kohlenträger herabsinken kann, bis seine Kohle die untere Kohle berührt.

Wird die Lampe in einen Stromkreis geschaltet, so geht der Strom durch den Elektromagnet *E*, der daher seine Armatur *A* anzieht und unter Vermittlung der Stange *T* die untere Kohle etwas von der oberen Kohle entfernt, wodurch der Lichtbogen hergestellt wird. Gleichzeitig legt sich der um *O* drehbare und durch die Spannung der Feder *r* regulirbare Hemmschuh *S* gegen den Rand der Scheibe *P* und arretirt dadurch die Spindel *B* und somit auch den oberen Kohlenträger *C*. Sowie aber der Lichtbogen zu lang wird, fliesst ein stärkerer Stromantheil durch das Solenoid *D*, dieses zieht seinen Kern an und lüftet hierdurch die Bremse, worauf die obere Kohle herabsinken kann, bis die ursprüngliche Bogenlänge wieder hergestellt ist.

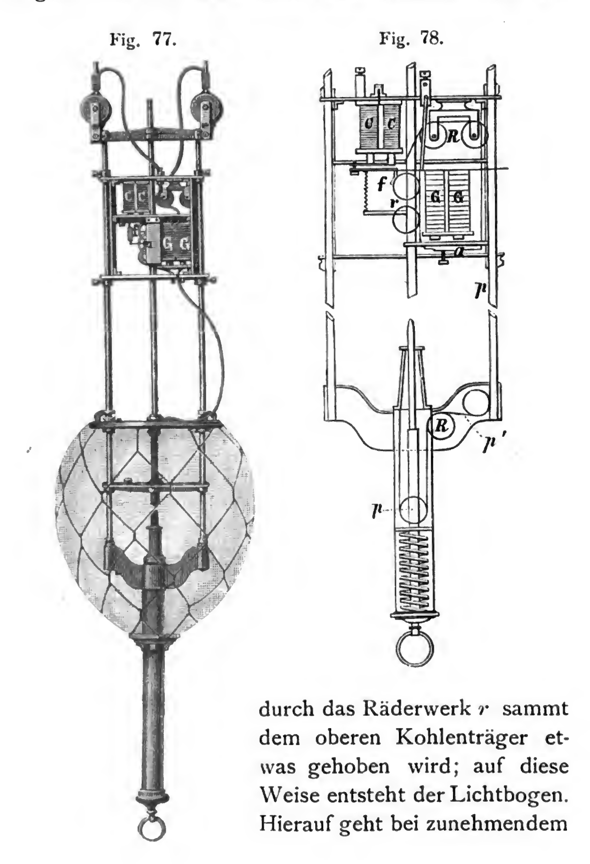
Wird der Strom unterbrochen, so gelangt die Feder *R* zur Wirkung und zieht die Stange *T* aufwärts; diese drückt durch den Ansatz *t* auf die Bremse *S* und hebt sie von der Scheibe *P* ab. Die Bewegung der Stange wird durch die oberhalb der Armatur *A* des Magnetes *E* angebrachte Regulirschraube *V* begrenzt und auf diese Weise die Bogenlänge festgestellt.

Lampen von Crompton und Crabb.

Die Lampe von Crompton ist durch die Fig. 77 und 78 dargestellt. Der Regulirungsmechanismus wirkt hierbei mit Hilfe zweier Elektromagnete *GG* und *CC*, von welchen der erstere in den Haupt- und der letztere in einen Nebenstromkreis geschaltet ist. Berühren sich

beide Kohlen, so fliesst der Strom durch den Elektromagnet *GG* und dieser zieht seine Armatur *a* an, wo-

Fig. 77. Fig. 78.



durch das Räderwerk *r* sammt dem oberen Kohlenträger etwas gehoben wird; auf diese Weise entsteht der Lichtbogen. Hierauf geht bei zunehmendem

Widerstande im Voltabogen ein Zweigstrom durch den Elektromagnet *CC*, welcher nun gleichfalls seine Armatur anzieht und dadurch die Bremse *f* von dem Rade abhebt; das Räderwerk wird frei und die obere Kohle kann nachsinken. Gleichzeitig hiermit wird die untere Kohle gehoben, da der obere Kohlenträger mit dem unteren durch die über die Rollen *R* laufende Schnur *p* verbunden ist. Durch diese Anordnung wird bewirkt, dass der Lichtpunkt während der ganzen Brenndauer in constanter Höhe bleibt.

Die Lampe von Crompton und Crabb*) besitzt zwei Paare von Kohlenstäben *YS* und *XT* (Fig. 79), deren Regulirung durch zwei Bremsräder *DC* erfolgt, welche mit ihren Zahnrädern in die Zahnstangen der oberen Kohlenträger *M* und *N* eingreifen. Die beiden Räder ruhen auf den Hebeln *LK*, deren äussere Enden bei *OO* am Lampengestelle drehbar befestigt sind. Die inneren Enden dieser Hebel sind durch Zugstangen *HG* mit dem Kerne eines Differential-Solenoides verbunden, dessen Hauptschluss-Spule *A* und dessen Nebenschluss-Spule *B* bildet. Der Solenoidkern wird von einer Spiralfeder getragen, deren Spannung man, um die gewünschte Bogenlänge zu erhalten, durch die Schraube *J* reguliren kann.

Von der Hülse *J* (Fig. 80) reicht ein kleines Stäbchen *p* nach abwärts, dessen Function unter der Voraussetzung, dass die Zahnstange z. B. sinkt, folgende ist: Wird der Hebel durch die Anziehung des Solenoides über seine horizontale Lage gehoben, so ruht das ganze Gewicht des oberen Kohlenträgers und der Kohle auf

*) Revue internationale de l'électricité. T. IX (1889), p. 314.

dem Umfange des Rades *D*, und die Reibung zwischen diesem und der Bremse *b* reicht hin, um eine Drehung

Fig. 79.

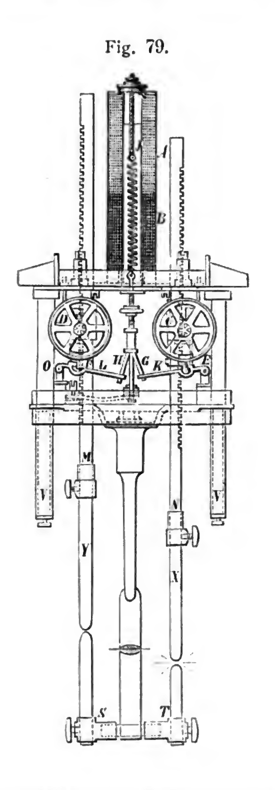
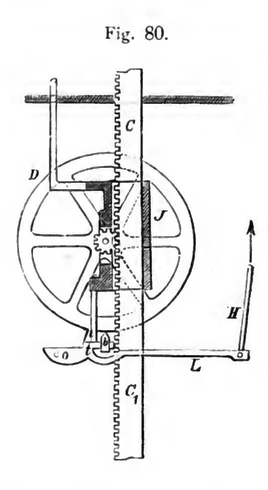


Fig. 80.



des Rades, beziehungsweise ein Herabsinken der oberen Kohle zu verhindern. Befindet sich hingegen der Hebel in einer tieferen als der horizontalen Lage, so ruht dann das Gewicht des oberen Kohlenträgers auf dem Stäbchen *p*, welches auf *t* herabsinkt und sich darauf stützt; dann kann sich das Rad frei drehen und die

Zahnstange wird mit der oberen Kohle so lange herabsinken, bis diese mit der negativen Kohle in Berührung kommt.

Gelangt ein Strom in die Lampe, so fliesst er durch die dicken Drahtwindungen *A* des Solenoides, hebt die Hebel über die Horizontallage, bildet den Lichtbogen und legt gleichzeitig die Bremse an. Wird der Bogen zu lang, so durchfliesst ein grösserer Stromantheil die Windungen *B* des Solenoides, der Kern desselben wird herabgezogen und dadurch der Hebel unter die Horizontallage gesenkt, also wie oben erklärt, das Rad freigegeben; die Kohle sinkt nach und stellt die normale Bogenlänge wieder her.

Das Stäbchen *p*, welches sich gegen den Hebel *K* stützen kann, ist länger als jenes, welches dem andern Hebel *L* zugehört. Wird nun der Kern durch das Solenoid angezogen, so muss daher der Hebel *L* früher das Rad *D* bremsen, als der Hebel *K* dazu gelangt, das Rad *C* zu bremsen. Es werden daher auch die Kohlen *YS* früher von einander entfernt als die Kohlen *HT*, und deshalb entsteht der Lichtbogen zwischen dem erstgenannten Kohlenpaare und wird in der früher angegebenen Weise erhalten, bis die Kohlen nahezu verbrannt sind. Dann stösst die nahezu ganz herabgesunkene Zahnstange *M* gegen einen Anschlag, der ein weiteres Sinken verhindert. Der Lichtbogen nimmt an Länge zu und veranlasst dadurch eine Verstärkung des Stromes in *B*, wodurch endlich der Kern des Solenoides und mit ihm der Hebel *K* so weit gesenkt wird, dass die Kohlen *XT* des zweiten Paares in Berührung kommen und dann in derselben Weise den

Lichtbogen bilden und erhalten, wie oben für das erste Paar angegeben wurde.

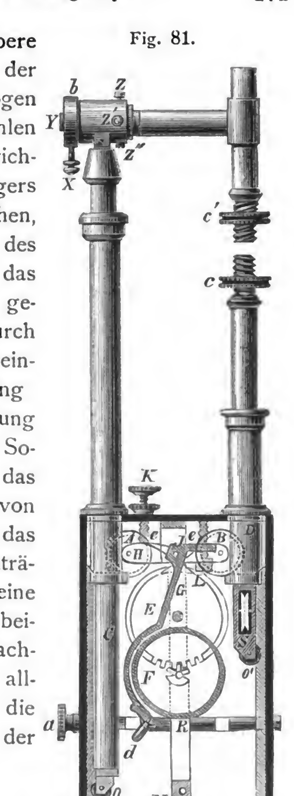
Lampe von Hauck.

Fig. 81 stellt den Mechanismus der Lampe im Schnitte, den oberen Theil in perspectivischer Ansicht dar. Die rechtseitige Wand des Lampengehäuses ist von den übrigen Theilen der Lampe sorgfältig isolirt und trägt eine Gleitschiene zur Führung und Stromzuleitung für den unteren Kohlenträger; eine ebensolche Schiene an der linksseitigen Wand führt den oberen Kohlenträger. Die Verbindung beider Träger ist durch eine Schnur hergestellt, welche am oberen Kohlenträger bei *o* befestigt ist, über die Rollen *A* *G*, *B* und *S* geht und an dem Deckel des Lampenkastens ihren zweiten Befestigungspunkt hat. Die Rollen *A* und *B* sind an einem um die Axe *J* drehbaren Querstücke angebracht. Von diesem Querstücke ragt nach abwärts zeigerartig ein Stück, welches die an ihrem Rande verzahnte Rolle *G* und das Bremsrad *F* trägt und an seinem unteren Ende durch die Eisenkerne *M* der Solenoide *N* bewegt werden kann. An der Axe *J* hängt auch leicht drehbar die Bremse *E* mit ihrer durch die Schraube *d* stellbaren Feder *R*. Diese Bremse ist oben (bei ihrem Drehpunkte) an der linken Seite mit einer Feder, an der rechten mit einem Querstücke *e* versehen, welches die Anschlagschraube *L* trägt.

Wird durch die Lampe ein Strom gesandt, so zieht *N* den Eisenkern *M* hinein und bewegt dadurch den Zeiger *GR* nach links; die Rolle *A* steigt, *B* sinkt

und ebenso steigt der obere Kohlenträger und sinkt der untere, d. h. der Lichtbogen entsteht. Die beiden Kohlen können trotz des Uebergewichtes des oberen Kohlenträgers nicht gegen einander gehen, weil durch die Drehung des Zeigers die Bremse *E* und das Bremsrad *F* in Berührung gekommen sind. Infolge der durch das Abbrennen der Kohlen eintretenden Stromschwächung geht *M* durch die Wirkung einer Gegenfeder aus dem Solenoide *N* heraus und das Bremsrad *F* entfernt sich von der Bremse *E*. Jetzt kann das Gewicht des oberen Kohlenträgers wirken und es tritt eine Gegeneinanderbewegung beider Kohlen ein. Um diese Nachschubbewegung zu einer allmählichen zu machen, ist die regulirbare Feder *R* an der Bremse angebracht und auch an der Axe des Rades *F* ein Windflügel (nicht gezeichnet) befestigt.

Fig. 81.



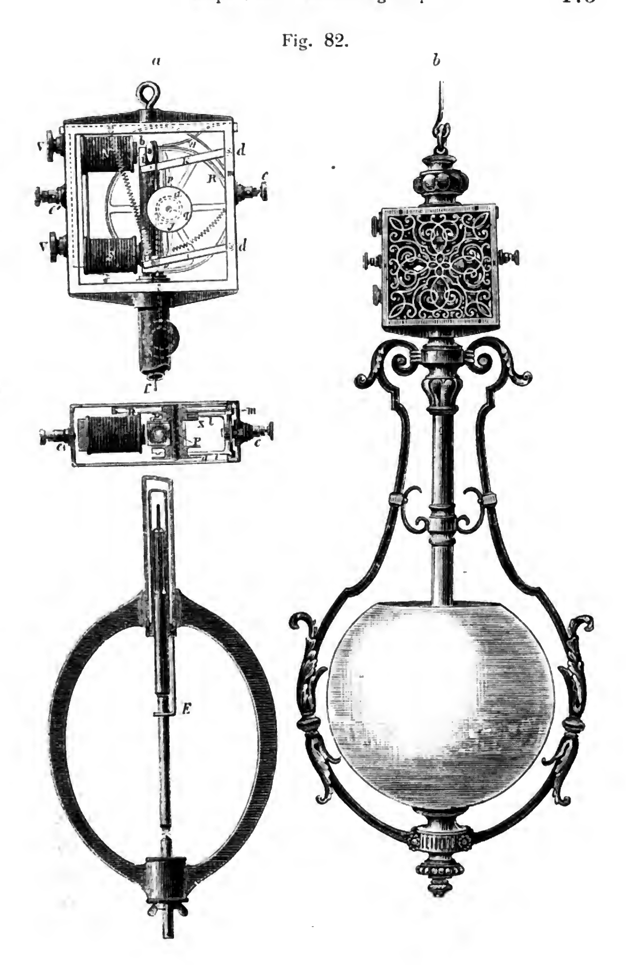
Lampe von Bürgin.

Die in Fig. 82 *a* in einer Seitenansicht und einem Horizontalschnitte abgebildete Lampe besteht aus einer rechteckigen Büchse für den Regulirungsmechanismus, den Röhren für die Kohlenträger und aus der Laterne.

Der obere Kohlenträger hängt isolirt an der Saite *f*, während die untere Kohle in dem unteren Ende des Laternenträgers derart befestigt ist, dass sie mit dem ganzen Lampenkörper in leitender Verbindung steht. Der Elektromagnet *N S* ist durch die Schrauben *v v* in horizontaler Richtung verstellbar. Das eine Drahtende desselben ist mit der isolirten Klemme *e*, das andere mit der kupfernen, die Führung und den Contact bildenden Röhre des oberen Kohlenträgers verbunden. Der Anker *i* ist die verticale Seite eines Parallelogrammes, welches sich um die beiden festen Punkte *d* drehen kann; die Arme *k* und *l* sind etwas gegen die horizontale Ebene geneigt und eine Veränderung dieses Neigungswinkels bewirkt eine Verschiebung der Armatur *i* im verticalen Sinne. Die Armatur ist selbst wieder ein Elektromagnet, versehen mit Windungen eines sehr dünnen Drahtes.

Die Enden dieser Armaturspirale sind einerseits mit der Klemme *e*, anderseits mit dem Lampenkörper verbunden. Die Armatur ist ihrer ganzen Länge nach hohl und trägt an ihrem oberen Ende die Rolle *b*. Das an der Armatur befestigte Stück *p* trägt das um die Welle *q* drehbare Rad *R* und die Rollen *a* und *x* für die Führung der Saite *f*, welche den oberen Kohlenträger hält, indem sie von diesem ausgehend, durch

Fig. 82.



die hohle Armatur über die Rolle *b* laufend, sich auf der Trommel *a* aufwindet. *y* ist eine zweite Saite, welche auf der Trommel *x* aufgewunden ist; an ihrem freien Ende hängt ein Kupferring, mit welchem man den oberen Kohlenträger wieder hinaufziehen kann. *w* ist eine als Bremse auf das Rad *R* wirkende Feder, *e* eine vom Lampenkörper isolirte und *e'* eine mit dem letzteren in leitender Verbindung stehende Klemmschraube.

Sobald ein Strom durch die Klemme *e* in die Lampe eintritt, theilt er sich in zwei parallele Ströme, deren einer die Spulen des Elektromagnetes *N S* und die beiden Kohlen, deren anderer die Drahtwindungen der Armatur durchläuft. Die Intensitäten der beiden Theilströme stehen im umgekehrten Verhältnisse der Widerstände ihrer respectiven Stromkreise, welche für den Draht der Armatur mehrere Hundert *O* und für den Voltabogen 1 bis 3 *O* betragen. Der Elektromagnet zieht seinen Anker an und dieser hebt gleichzeitig das Rad *R*, indem er es gegen die Bremse *w* drückt. Von diesem Momente an kann sich weder die Axe *q* drehen noch die Saite *f* abwickeln. Der obere Kohlenträger, welcher an letzterer aufgehängt ist, muss der aufsteigenden Bewegung der Armatur folgen, bis der Druck der Bremse *w* der Anziehungskraft des Elektromagnetes das Gleichgewicht hält. Auf diese Art wird der Lichtbogen gebildet.

Mit dem Abbrennen der Kohlen wächst der Widerstand des Lichtbogens immer mehr und ebenso der Zweigstrom in der Armatur, bis endlich die Abstossung der gleichnamigen Pole die Armatur sinken macht. Dadurch wird das Rad von der Bremse freigegeben und

der obere Kohlenträger sinkt vermöge seines Gewichtes hinab, d. h. die Kohlen nähern sich wieder einander. Nun vermindert sich der Zweigstrom in der Armatur, und somit auch der Magnetismus derselben, und das ganze System tritt in den anfänglichen Gleichgewichtszustand zwischen der Anziehung des Magnetes und dem Drucke der Feder einerseits und dem Gewichte des Kohlenträgers anderseits. Dieses Spiel geht stetig vor sich und erhält den Bogen in constanter Länge.

Jede Lampe regulirt sich, indem sie der eigenen Bogenlänge folgt, hindert daher nicht, eine grössere Anzahl von Lampen in einen Stromkreis hinter einander zu schalten. Die Lampen werden ein- für allemal mit Hilfe der Schrauben *vv*, durch welche der Magnet der Armatur näher gerückt oder von ihr entfernt wird, eingestellt, und zwar nach Belieben auf grösseren oder kleineren Bogen. Die magnetischen Anziehungen und Abstossungen sind, dank der speciellen Aufhängung der Armatur, directe Functionen der Intensität des Haupt- und Zweigstromes, da hierdurch die Entfernung der Magnetpole nahezu constant erhalten wird. Damit ist auch das ruckweise Bewegen, welches bei den gewöhnlichen Anordnungen durch die Abnahme der magnetischen Kraft mit dem Quadrate der Entfernung bedingt ist, vermieden.

Die Fig. 82 *a* zeigt den Bogen in seiner tiefsten Stellung. Die ganze Länge, um welche der Lichtbogen sinkt, ist gleich einem Drittel der Länge der Kohlenstäbe. Dies ist die Länge, um welche sich die untere, negative Kohle in einer Periode verkürzt. Von der positiven Kohle verbrennt in derselben Zeit die doppelte

Länge der negativen Kohle, das ist aber $^2/_3$, und da die positive Kohle in dieser Zeit der negativen nachfolgen muss, beschreibt erstere demnach einen Weg, der gleich ist ihrer ganzen Länge. Der positive Kohlenträger stösst in demselben Momente gegen einen Eisendraht *E*, als die untere Kohle ausgebrannt ist und erneuert werden muss; der Rest der positiven Kohle ist aber gerade ein Drittel der ganzen Kohle und daher gerade lang genug, um in einer neuen Periode als negative Kohle zu dienen. Der obere positive Kohlenträger erhält natürlich eine neue Kohle von der vollen Länge.

Eine solche Periode dauert acht Stunden, wenn die Kohlen 0·5 *m* lang sind, einen Durchmesser von 13 *mm* besitzen, und ein Strom von 20 *A* benützt wird. Der Strom verbraucht dann 6 *cm* Kohle per Stunde, von welchen 4 auf die obere und 2 auf die untere Kohle kommen; dies macht in acht Stunden 48 *cm* und der Rest von 2 *cm* bleibt als unbrauchbar zurück.

Fig 82*b* stellt eine mit Bronze reich verzierte Lampe dar; sie ist das Modell, welches in der internationalen Ausstellung für Elektricität in Paris functionirte und seitdem zur Beleuchtung von Speisesälen in Hôtels Concertsälen etc. mehrfach benützt wurde. Die Zerstreuung des Lichtes besorgt eine Alabasterkugel von 50 *cm* Durchmesser.

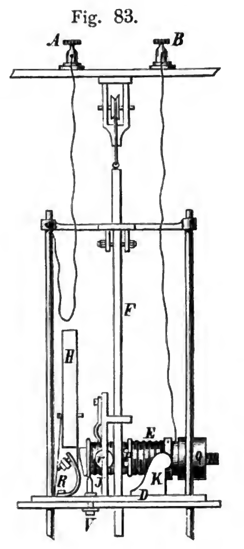
Lampe von Gülcher.

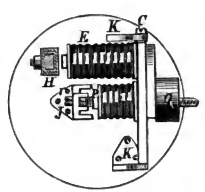
Die Bogenlampe von Gülcher*) zeichnet sich nicht nur durch Einfachheit aus, sondern auch dadurch,

*) Centralblatt f. Elektrotechnik v. F. Uppenborn. Bd. VIII (1886), S. 63.

dass sie keine Räder oder secundären Contacte besitzt, so dass sie auch an solchen Orten verwendbar ist, wo das Eindringen von Staub nicht vermieden werden kann. Alle während des Ganges der Lampe erforderlichen Functionen werden von einem einzigen Elektromagnete ohne Zwischenmechanismus ausgeführt. Kein Organ ist der Abnützung unterworfen und das Auseinandergehen der Kohlenspitzen vollzieht sich bei der Entzündung selbstthätig.

Fig. 83.





Die Lampe (Fig. 83) wirkt in folgender Weise: Der von der isolirten positiven Klemme *B* kommende Strom geht durch einen sehr biegsamen Draht nach dem hufeisenförmigen Elekromagnet *E*, dessen Schenkel ungleich lang sind. Dieser Magnet ist zwischen den beiden Spitzen *C C* drehbar, welcher durch die von den übrigen Theilen der Lampe isolirten Winkel *K* gehen; der grösste Theil des Magnetgewichtes ist durch das Gegengewicht *Q* ausbalancirt. Aus dem Elekromagnete gelangt der Strom durch einen der Winkel *K* mittelst eines Drahtes in

die isolirte Scheibe *D*, nach dem Winkel *J*, von wo er mit Hilfe einer Contactrolle *r* in den oberen eisernen Kohlenhalter *F* geleitet wird; alsdann geht er in den unteren Kohlenhalter und durch einen biegsamen Draht nach der anderen isolirten Klemmschraube *A*.

Vor dem langen Schenkel des Elektromagnetes befindet sich eine kleine prismatische Stange *H*, die sich in horizontaler oder verticaler Richtung dem Elektromagnete nähern oder von demselben entfernen kann; auf dieser Stange *H* ist ein kleiner Schlitten verschiebbar, an welchem mit Hilfe einer Feder ein kleiner Eisenanker so befestigt ist, dass er sich einige Millimeter vor dem Pole des Magnetes befindet, dessen schwingende Bewegung durch eine Stellschraube *V* begrenzt, beziehungsweise regulirt werden kann. Der auf die Stange *F* wirkende kürzere Schenkel des Elektromagnetes ist mit einer Messinggarnitur versehen, welche einerseits gegen Rost schützen, anderseits die durch den Magnetismus eintretende Polarisation zwischen Stange *F* und Pol *P* verhindern soll.

Sobald beide Klemmschrauben der Lampe mit der Elektricitätsquelle in Verbindung sind, zieht der Elektromagnet den Kohlenhalter, aber gleichzeitig auch die prismatische Stange *H* an; im selben Augenblicke wird der entsprechende Magnetpol genöthigt, sich der Stange *H* zu nähern, wobei er eine kleine aufwärts gerichtete Drehung um die Spitzen *CC* macht und dabei den oberen Kohlenträger hebt. Die Kohlenspitzen trennen sich infolge dessen und bilden den Lichtbogen. Mit dem Wachsen desselben nimmt auch der Widerstand zu und daher die Stromstärke ab; folglich

nimmt auch der Magnetismus in dem Maasse ab, als sich die Entfernung der Kohlenspitzen vergrössert. Der immer schwächer werdende Magnet gleitet dann infolge seines Gewichtes ganz allmählich an der Stange *H* herunter und bewirkt dabei eine Annäherung der Kohlenspitzen; er setzt seine nach abwärts gerichtete Schwingung so lange fort, bis er auf die Stellschraube *V* trifft. Von diesem Augenblicke an bleibt er in Ruhe und die Kohlenspitzen bestimmen, indem sie verbrennen, den der Stromstärke entsprechenden, die grösste Lichtstärke gebenden Zwischenraum. Alsdann vermindert sich aber die Anziehungskraft des Magnetes in der Art, dass die Stange *F* des oberen Kohlenhalters durch den Magnet nicht mehr zurückgehalten wird, sondern allmählich am Pol herabgleitet.

Mit der neuerlichen Annäherung der Kohlen wird jedoch der Magnetismus wieder stärker und hält daher abermals den Kohlenhalter zurück. Für den Fall, dass letzterer eine zu grosse Annäherung der Kohlenspitzen bewirkt, nimmt der Magnetismus so weit zu, dass sich die Anziehungskraft der Stange *H* von Neuem geltend macht und die normale Entfernung der Kohlenspitzen wieder herstellt.

Die kleine Eisenarmatur der beweglichen Feder *R* bildet eine elektrische Bremse und dient dazu, die Bewegungen des Magnetes im Anfange zu mässigen. Dieses Mittel hat sich als ausserordentlich zweckmässig erwiesen; der Lichtbogen bleibt constant und in bestimmter Höhe, da beide Kohlenträger mit passender Geschwindigkeit beweglich sind. Der untere Kohlenträger dient gleichzeitig dazu, das Gewicht des oberen

theilweise auszugleichen, damit dieser nicht zu schwer sei und mit Sicherheit durch den Elektromagnet bewegt werde. Die Anordnung der Scheiben und Seidenschnüre zur Bewegung der Kohlenhalter ist aus der Figur zu ersehen.

Diese Lampen können als Theilungslichter verwendet werden, ohne eine Veränderung der Construction oder die Einschaltung anderer Apparate zu erfordern. Sie arbeiten, zu einander parallel geschaltet, mit besonderer Regelmässigkeit, indem die eine zur Regulirung der anderen dient.*)

Die bisher beschriebene Lampe besitzt nur ein Kohlenpaar für eine Brenndauer von 8 bis 9 Stunden; Gülcher construirte aber auch eine Doppellampe der eben beschriebenen Art, bei welcher nach dem Abbrennen des einen Kohlenpaares die am Ende ihres Weges angekommene Stange desselben die Stange des zweiten Paares ausklinkt, sodann hier der Lichtbogen entsteht.

* * *

Wir wenden uns nunmehr einer Gruppe von Lampen zu, bei welcher auch noch die Schwere eines Kohlenträgers die Bewegung der Kohlen bewirkt, die Hemmung jedoch nicht durch einen Bremsring oder auf magnetischem Wege, sondern durch das Eingreifen eines Sperrhakens in ein Räderwerk bewerkstelligt wird. Hierbei ist in erster Linie die in ihrer älteren Form bereits im Jahre 1859 construirte Bogenlampe von Serrin zu nennen.

---

*) Vergl. diese Bibliothek, Bd. XI (1883), II. Aufl., S. 76.

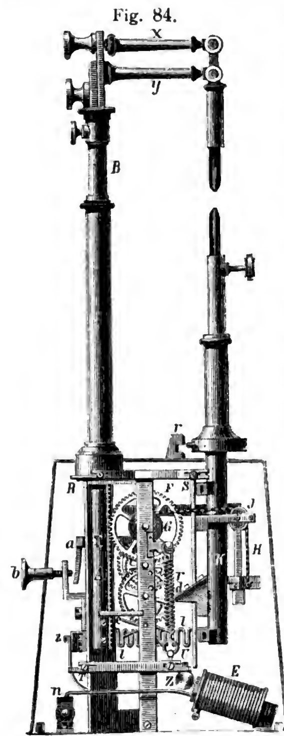
Lampen von Serrin und Lontin.

Bei dem Regulator von Serrin (Fig. 84) trägt der obere positive Kohlenträger *B* in seinem unteren Drittel eine Zahnstange *A*, welche in das Zahnrad *F* eingreift; mit *F* auf derselben Axe sitzt eine Rolle *G*, deren Radius halb so gross ist, als der des Zahnrades. Von dieser Rolle geht eine Rollkette über die Führungsrolle *J* zu einem Elfenbeinstücke, das mit dem unteren, negativen Kohlenhalter *K* verbunden ist.

Am Boden des Lampenkastens ist ein Elektromagnet *E* angebracht, dessen horizontaler Anker *Z* an dem Parallelogramme *RSTU* befestigt ist. *RS* kann sich um *R* und *TU* kann sich um *T* drehen. Die verticale Seite *SU* ist mit dem Querstücke, welches die Rolle *J* trägt, verbunden; damit das Parallelogramm nicht durch sein Gewicht herabsinkt, sind zwei Federn (die zweite ist in der Zeichnung nicht sichtbar) angebracht, deren eine durch die Schraube *b* und den Hebel *a* stärker oder schwächer angespannt werden kann; die Federn werden so regulirt, dass *RS* und *TU* horizontal stehen. Das letzte Rad der Radübersetzung bildet ein Sternrad *e*, in welches der dreieckig gestaltete Sperrzahn *d* eingreifen kann. Wird der obere Kohlenträger *B* hinaufgezogen, etwa um neue Kohlen zu befestigen, so dreht sich nur das Rad *F*, während das übrige Räderwerk in Ruhe bleibt, weil das zweite Rad eine Sperrvorrichtung besitzt, welche die Drehung nur nach der entgegengesetzten Richtung gestattet. Die Arme *x* und *y* mit ihren Schrauben dienen zur genauen Einstellung der oberen Kohle. Der Strom

wird durch die Metallbestandtheile der Lampe in den Kohlenträger *B* geleitet, gelangt dann durch die obere,

Fig. 84.

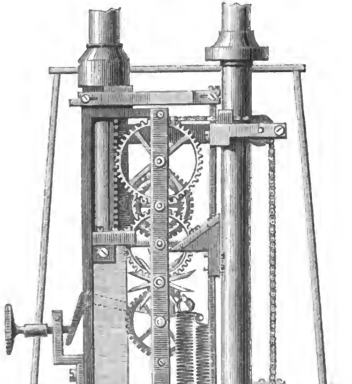


positive und die untere negative Kohle in den Träger *K*, von hier durch den Spiraldraht *l l* zu einer isolirten Klemme *z*, die mit dem Elektromagnete *E* verbunden ist; von diesem geht der Strom durch einen Draht zur Klemme *e* und wieder zur Stromquelle zurück. Sobald der Strom geschlossen ist, zieht *E* seinen Anker *Z* an, und die Seite *SU* des Parallelogrammes sinkt etwas nach abwärts; mit ihr sinkt auch der untere Kohlenträger und wegen dessen früher beschriebenen Verbindung mit dem Zahnrade *F* steigt der obere Kohlenträger *B*. Die Kohlen werden also von einander entfernt und es entsteht der Lichtbogen. Der obere Träger kann trotz seines Gewichtes nicht herabsinken, da durch das Sinken des unteren Kohlenträgers der Sperrzahn *d* zum Eingriffe in das Sternrad *e* gebracht wurde und damit das Räderwerk arretirt ist.

Durch Abbrennen der Kohlen wächst nun der Widerstand im Schliessungsbogen, der Strom wird schwächer und mit ihm der Elektromagnet. Es kommen daher die seiner Anziehung entgegenwirkenden Federn *r* zur Geltung und ziehen das Parallelogramm nach oben. Dadurch wird aber auch der Sperrzahn *d* gehoben und das Räderwerk freigegeben. Es sinkt jetzt der Kohlenträger *B* und hebt dadurch das Rad *F*, die Rolle *G* und die Kette *H* den unteren Kohlenträger *K*, d. h. die beiden Kohlen werden einander genähert. Da sich, wie früher erwähnt, die Durchmesser des Rades *F* und der Rolle *G* wie 1 : 2 verhalten, so rückt die negative Kohle halb so viel nach oben als die positive Kohle nach unten, also ganz entsprechend dem ungleichförmigen Abbrennen beider Kohlen. Der Voltabogen bleibt daher an derselben Stelle. Das Nachrücken der Kohlen hat indessen den Widerstand im Schliessungsbogen verringert und so den Strom und mit ihm den Elektromagnet wieder zu den ursprünglichen Stärken gebracht. Es wird daher der Anker abermals angezogen und das Räderwerk arretirt, wodurch der weitere Nachschub der Kohlen beendet ist, bis neuerdings durch Abbrennen der Kohlen der Widerstand zugenommen hat. Dieses Spiel geht während der ganzen Brenndauer ununterbrochen fort. Durch die Spannung der Feder *f* mittelst der Schraube *b* und des Hebels *a* kann das Parallelogramm entsprechend der Stromstärke so ausbalancirt werden, dass die geringsten Stromschwankungen genügen, um das Räderwerk in Thätigkeit zu setzen, also den Lichtbogen in constanter Grösse zu erhalten. Ebenso wird durch das Anziehen

der Schraube *b* das Parallelogramm etwas gehoben, durch Nachlassen derselben etwas gesenkt, wodurch die Lampe für grössere oder kleinere Voltabogen eingestellt werden kann.

Fig. 85.



Drückt man den unteren Kohlenträger etwas nach abwärts, so wird auch das Parallelogramm gesenkt und dadurch das Räderwerk gehemmt; die Function der Lampe ist unterbrochen. Will man diesen Zustand erhalten, so dreht man den Kohlenhalter ein wenig,

so dass der unten angebrachte Zapfen zum Eingriff in das Stück *r* kommt.

Lontin hat den Serrin'schen Regulator dahin abgeändert, dass er den Elektromagnet nicht in den Hauptstromkreis, sondern in einen Nebenschluss legte (Fig. 85). Hiermit wird der Regulator auch für Theilungslicht verwendbar und functionirt dann in folgender Art: Sobald die Lampe in den Stromkreis eingeschaltet ist, geht, wenn die Kohlen sich nicht berühren, der ganze Strom durch den Magnet im Nebenschlusse; dieser zieht seinen Anker an und gibt durch Hebung des Sperrzahnes das Räderwerk frei, wodurch beide Kohlen einander bis zur Berührung genähert werden. Im selben Momente geht aber der Hauptstrom durch die Kohlen, wo er jetzt wenig Widerstand findet und der Nebenschluss, respective der Magnet, wird nahezu stromlos: der Anker fällt ab und der Sperrzahn arretirt das Räderwerk; beim Abwärtsgehen des Ankers wird aber auch der untere Kohlenträger etwas nach abwärts bewegt und so dem Strome Gelegenheit gegeben, den Lichtbogen zu bilden. Dann bleibt das Räderwerk so lange arretirt, bis durch Abbrennen der Kohlen der Bogen und somit auch der Widerstand im Hauptstromkreise zu gross geworden ist, also der Strom im Nebenschlusse wieder jene Stärke erreicht hat, die zum Anziehen des Ankers und neuerlichem Freigeben des Räderwerkes ausreicht. Selbstverständlich muss, wenn der Regulator in dieser Art arbeiten soll, die Stellung des Elektromagnetes und die Form des Ankers entsprechend abgeändert sein. Diese Aenderung ist aus einem Vergleiche der Fig. 84 mit Fig. 85 leicht zu ersehen.

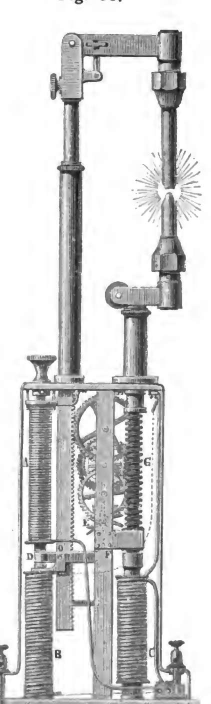
Soll die Lampe für Wechselströme benützt werden, so müssen, da unter diesen Umständen die beiden Kohlen gleich schnell abbrennen, die Durchmesser des Zahnrades *F* und der Rolle *G* gleich gross sein.

Lampe von Fontaine.

Die Erhaltung einer constanten Lichtbogenlänge wird durch die Wirkung der drei Elektromagnete *A*, *B* und *C* (Fig. 86) erreicht. Ein um *O* drehbarer Hebel trägt an einem Ende den für die Elektromagnete *A* und *B* gemeinschaftlichen Anker *D*, an dem entgegengesetzten Ende den Sperrzahn *F*, welcher in das Sternrad *E* eingreifen kann. Dieses bildet das letzte Rad einer Zahnradübersetzung, deren erstes Rad in die gezahnte Stange des oberen Kohlenträgers eingreift. Der Anker des Magnetes *C* ist mit dem unteren Kohlenträger fest verbunden und wird durch eine kräftige Spiralfeder *G* vom Elektromagnete abgezogen. So lange die Lampe stromlos ist, schwebt der Anker *D* zwischen den Polen von *A* und *B* in der Mitte.

Wird die Lampe mittelst ihrer beiden Polklemmen in den Stromkreis einer Lichtmaschine eingeschaltet, so geht der Strom von der linksseitigen Polklemme zum Elektromagnete *A* und zur rechtsseitigen Polklemme. *D* wird von *A* angezogen, der Zahn *F* tritt ausser Eingriff mit dem Sternrade *E* und der obere Kohlenträger sinkt vermöge seiner Schwere bis zur Berührung beider Kohlen herab. Im selben Momente theilt sich aber der in die Lampe eintretende Strom in drei Zweige, deren erster Zweig die eben angegebene Richtung einschlägt, deren zweiter durch die beiden

Kohlen und den Elektromagnet B verläuft (in der Figur punktirt gezeichnet) und deren dritter endlich ebenfalls die beiden Kohlen passirt und dann den Elektromagnet C umkreist. Da der Elektromagnet A Windungen dünnen Drahtes besitzt, wird er nur schwach sein und die Kraft des Elektromagnetes B daher vorherrschen. Der Anker D bewegt sich deshalb abwärts, folglich der Sperrzahn aufwärts und das Räderwerk ist arretirt. Gleichzeitig zieht aber der Elektromagnet C seinen Anker an und bewirkt dadurch ein Abwärtsgehen des unteren Kohlenträgers: die beiden Kohlen entfernen sich also von einander, und der Lichtbogen entsteht. Durch Abbrennen der Kohlen wird der Elektromagnet B geschwächt, während A an Kraft gewinnt; die Anziehung des letzteren überwiegt endlich die des ersteren und der Anker D bewegt sich nach aufwärts. Der Sperrzahn F gibt das Räderwerk frei, und die obere Kohle kann so lange nachsinken, bis der Magnet wieder seine anfängliche Stärke erreicht hat, der Lichtbogen also abermals die ursprüngliche Länge besitzt. Der


Fig. 86.

Elektromagnat *C* verändert hierbei seine Stärke nicht, weshalb auch die untere Kohle ihre Lage nie verändert.

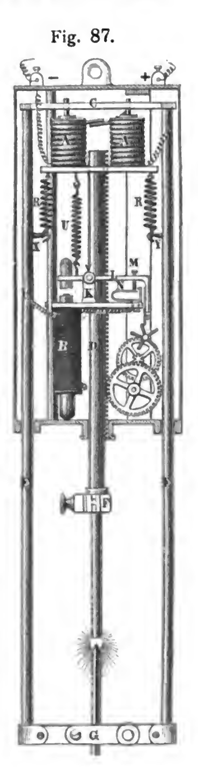
Lampe von Gramme.

Die Zahnstange *D* (Fig. 87) trägt die obere positive Kohle und dient durch ihr Gewicht als Motor für die Bewegung der letzteren; die untere, negative Kohle wird an einem Querstücke *G* befestigt, welches mit zwei Stangen *EE* verbunden ist. Diese sind an ihren Enden mit einer schmiedeisernen Traverse *C* verschraubt, welche den Anker zu den im Hauptstrome eingeschalteten Elektromagneten *AA* bildet, und welche durch die Spiralfedern *RR* immer nach aufwärts gezogen wird. Der in einem Nebenzweige eingeschaltete Elektromagnet *B*, von grossem Widerstande, besitzt einen Anker, welcher auf dem um *v* drehbaren Hebel *L* befestigt ist. Am anderen Ende des Hebels ist mit diesem fest verbunden ein Sperrzahn *s*, der in das Sternrad eingreifen kann. *U* ist eine Feder, welche den Anker vom Magnete *B* stets abzieht; *N* ist eine Contactfeder und *M* ein Contactstift.

Die Function der Lampe ist folgende: durch die Einwirkung der Federn *RR* und der Ansätze *XY* wird in der Ruhelage das Ende des Hebels *L*, an welchem sich der Sperrzahn *s* befindet, immer in die Höhe gezogen, wodurch das Sternrad frei wird und die Zahnstange *D* vermöge ihres Gewichtes herabsinkt, bis sich beide Kohlen berühren. Der Strom kann nun durch die Lampe gehen. Er tritt bei der mit + bezeichneten Klemme ein, geht durch die Metallbestandtheile der Lampe zum oberen Kohlenträger *D*,

dann durch die untere Kohle in die Stange *E* und von hier durch den Elektromagnet *AA* zu der mit — bezeichneten Klemme. Bei *P* ist eine Abzweigung, durch welche ein Theil des Hauptstromes, ohne den Lichtbogen zu passiren, den Elektromagnet *B* umkreisen kann. Sein Weg geht aus der Masse der Lampe durch den Stift *M* in die isolirte Contactfeder *N*, dann durch den Elektromagnet *B* und bei *P* wieder in die Masse der Lampe zurück. Sobald ein Strom durch die Lampe geht, zieht der Elektromagnet *AA* die Traverse *C* an, drückt somit die Stangen *EE* und mit diesen die untere Kohle hinunter, und stellt in solcher Weise den Lichtbogen her. In dieser Stellung bleibt der untere Kohlenhalter während der ganzen Zeit des Betriebes unverrückt stehen. Infolge der Abwärtsbewegung der Stangen *EE* und der Anziehung der Feder *U* kommt der Sperrzahn *s* zum Eingriffe in das Sternrad, wodurch ein Nachsinken des oberen Kohlenträgers *D* verhindert wird. Der Elektromagnet *B* ist sehr gross und, wie erwähnt, besitzen seine Drahtwindungen einen hohen Widerstand; der

Fig. 87.



in diesem circulirende Zweigstrom ist daher sehr schwach.

Wird aber durch das Abbrennen der Kohlen der Voltabogen länger und somit der Widerstand im Hauptstromkreise grösser, so wird der Strom in diesem schwächer, im Nebenschlusse aber stärker. Der Elektromagnet *B* zieht seinen Anker an und bringt hierdurch den Sperrzahn *s* ausser Eingriff. Jetzt ist das Sperrrad und mit ihm das übrige Räderwerk frei, die Zahnstange und mit ihr die obere Kohle kann nachsinken. Im selben Momente wird aber auch der Contact des Stiftes *M* und der Feder *N* unterbrochen, und somit der Strom, welcher durch den Magnet ging, aufgehoben. Die Feder *U* zieht daher den Anker ab und wieder in seine Ruhelage zurück, wodurch das Räderwerk gehemmt und das Nachsinken der Kohle wieder unterbrochen wird. Brennen die Kohlen weiter ab, so beginnt das obige Spiel von neuem und so geht es fort, so lange die Lampe brennt. Da die Stromstärke im Hauptstromkreise nicht plötzlich abnimmt, die im Nebenstromkreise infolge dessen nicht plötzlich zunimmt, so erfolgt das Nachschieben der Kohle nicht sprungweise, sondern continuirlich, stets mit dem Abbrennen der Kohlen gleichen Schritt haltend. Die Lampe ist für Einzel- und getheiltes Licht zu verwenden.

* * *

In der Gruppe der nachstehend beschriebenen Lampen ist nicht mehr das Gewicht des einen Kohlenträgers der Motor für die Bewegung der Kohlen,

sondern es wird hierzu ein eigener Elektromotor, und zwar zumeist eine kleine Gramme'sche Maschine benützt. Hierher gehören die Lampen von Tschikoleff, Schuckert, Gray, Breguet, Maquaire, Thury;*) in etwas anderer Weise, aber immerhin auch durch eine Art Motor wird die Bewegung der Kohlen in der Flachdecklampe von Siemens & Halske bewirkt.

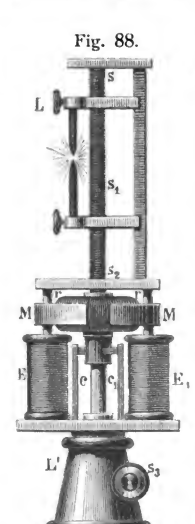
Lampe von Tschikoleff.

Wenngleich diese Lampe keine grosse Verbreitung gefunden hat, ist sie doch deshalb von Interesse, da sie als die erste sogenannte Differentiallampe zu betrachten ist. Tschikoleff, Vorstand der Beleuchtungsabtheilung der russischen Artillerie, hatte sie schon seit 1877 in Gebrauch. Die Construction dieser Lampe ist aus Fig. 88 ersichtlich. E bedeutet einen Elektromagnet mit dicken Drahtwindungen, E_1 einen Elektromagnet mit Windungen eines dünnen Drahtes. MM sind die halbkreisförmig gebildeten Pole dieser beiden Magnete, welche den Gramme'schen Ring rr in $^2/_3$ seines Umfanges umfassen. An den Trägern cc_1 sind die auf dem Stromsammler des Ringes schleifenden Contactbürsten befestigt. Die Axe des Gramme'schen Ringes ist nach oben verlängert und sind in ihr Schrauben von einander entgegengesetzter Richtung eingeschnitten, und zwar von s_1 bis s_2 in der einen und von s_1 bis s in der anderen Richtung. Je einer der Kohlenträger bildet zu diesen beiden Schrauben

*) Uppenborn: Zeitschr. f. angewandte El., Bd. III., S. 366, 466; Bd. IV, S. 115. — Elektrotechn. Zeitschr., Bd. X (1889), S. 252. — La lumière électrique, XXVIII (1888), p. 484.

die Mutter. Die Gewindhöhe beider Schrauben ist dieselbe, wenn die Lampe mit Wechselströmen betrieben wird, aber von einander verschieden, wenn gleichgerichtete Ströme angewandt werden sollen. Eine Stellschraube s_3 dient zum Heben oder Senken des Lichtbogens, was für den Fall Bedeutung gewinnt, als ein Reflector benützt werden soll.

Fig. 88.



Der Strom tritt bei L in die Lampe ein und findet hier zunächst zwei Wege für seinen Durchgang; ein Theil läuft durch die Kohlen, die dicken Drahtwindungen des Magnetes E und verlässt die Lampe bei L'; ein zweiter Theilstrom geht von L aus durch die Windungen des Magnetes E_1 mit dünnen Drähten und von diesem bei L' aus der Lampe heraus. Der durch den Lichtbogen gehende Strom findet aber ausser dem früher angegebenen Wege durch E noch einen zweiten Weg durch den Träger c und die zugehörige Bürste in den Gramme'schen Ring und von diesem durch c_1 nach L' zurück, so dass also im Ganzen drei Theilströme durch die Lampen gehen. Bei Einschaltung der Lampe in einen Stromkreis wird zunächst der weitaus grösste Theil des Stromes durch die sich berührenden Kohlen gehen, dann zum Theil die Windungen des Elektromagnetes E, zum Theil den Gramme-

schen Ring durchlaufen; die Spule E_1 wird wegen ihres hohen Widerstandes nahezu stromlos sein. Im Gramme'schen Ringe bilden sich Pole, deren Verbindungslinie senkrecht auf die Verbindungslinie der beiden Magnetpole MM steht. Der stark magnetische Pol M wird nun dem Ringe eine der Windungsrichtung der Drähte seines Magnetes und der Polvertheilung im Gramme'schen Ringe entsprechende Drehung geben und bei richtiger Construction die Schraubenspindel ss_2 derart drehen, dass sie vermöge ihrer beiden einander entgegengesetzt eingeschnittenen Schrauben die Kohlenträger von einander entfernt. Dadurch bildet sich der Lichtbogen. Die Kohlen brennen ab, der Widerstand in ihrem Stromkreise wächst und die Stromstärke muss abnehmen. Im selben Maasse wächst jetzt der Strom in der Zweigleitung, welcher der Elektromagnet E_1 mit feinen Drahtwindungen angehört, und endlich erreicht er eine solche Stärke, dass der Pol des letzterwähnten Magnetes kräftiger wird, als jener des Magnetes mit starken Drähten. Der nun kräftig gewordene Magnetpol dreht aber den Gramme'schen Ring in der entgegengesetzten Richtung, d. h. die Kohlen werden einander genähert. Beim regelmässigen Brennen der Lampe steht daher der Gramme'sche Ring und somit die Entfernung der beiden Kohlen stets unter der Differentialwirkung der magnetischen Kräfte der beiden Elektromagnete E und E_1. — Die Regulirung des Bogens erfolgt bei der Lampe von Tschikoleff ohne Mitwirkung von Rädern und ohne irgendwelche Auslösungsvorrichtung. Obwohl unter sonst gleichen Umständen Lampen ohne Auslösung solchen mit Auslösung

vorzuziehen sind, weil ihre Regulirung stetiger vor sich geht, darf doch bei der jetzt besprochenen Lampe nicht übersehen werden, dass zur Bewegung des Gramme'schen Ringes der eine oder der andere Magnetpol immer erst eine gewisse Stärke erreicht haben muss, also ein gewisser Zeitraum erforderlich ist, bis der Ring sich dreht, weil in der Schraube Reibung stattfindet, die durch die Anziehungskraft der beiden Magnete überwunden werden muss. Die Länge des Lichtbogens bleibt deshalb keine absolut constante.

Lampe von Bréguet.

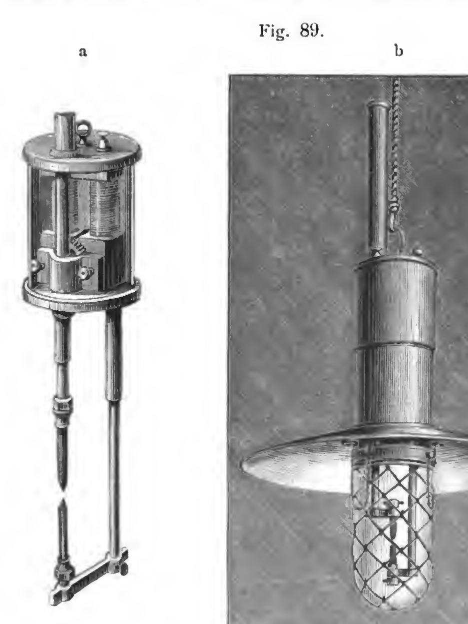
Wie aus der Fig. 89a zu ersehen, stellt die Bewegungs- und Regulirungsvorrichtung dieser Lampe eine elektrische Maschine einfachster Form dar, die oberhalb der Kohlenträger in einem Gehäuse angebracht ist. Hierbei ist der negative Kohlenträger unbeweglich, während der positive Kohlenträger unter Vermittlung einer Zahnstange in ein auf der Ringaxe der dynamo-elektrischen Maschine aufgekeiltes Sternrädchen eingreift, und wenn er dieses sammt dem Ringe zu drehen vermag, vermöge seiner Schwere herabsinkt. Geht nämlich ein Strom durch die Lampe, so hat dies zur Folge, dass sich der Ring in entgegengesetzter Richtung zu drehen sucht, wodurch also der obere Kohlenträger gehoben wird.

So lange die Lampe stromlos ist, macht sich also das Gewicht des oberen Kohlenträgers geltend, und dieser sinkt bis zur Berührung beider Kohlen herab. Wird nun aber ein Strom durch die Lampe gesandt, so dreht sich unter seinem Einflusse der Ring derart,

dass er hierdurch den oberen Kohlenträger hebt, also die Kohlen von einander entfernt werden und der Lichtbogen entsteht. Nimmt hierauf infolge des Abbrennens

Fig. 89.

a b



der Kohlen die Bogenlänge zu, so wächst der Widerstand und die Stromstärke nimmt ab; nun erhält wieder das Gewicht des oberen Kohlenträgers über die Anziehung zwischen Anker und Elektromagnet das Uebergewicht und der obere Kohlenträger kann, den Anker

der schwach wirkenden Anziehung entgegendrehend, die obere Kohle der unteren näher bringen, bis wieder das Gleichgewicht zwischen beiden Drehungsmomenten oder, was dasselbe ist, bis wieder die normale Bogenlänge hergestellt ist.

Die beschriebene Lampe, welche in Fig. 89b mit Glas und Reflector ausgerüstet abgebildet ist, hat eine Brenndauer von 7 bis 8 Stunden; durch Anwendung mehrerer Kohlenpaare, die hintereinander geschaltet werden und nach einander abbrennen, kann die Brenndauer aber natürlich auch verlängert werden.

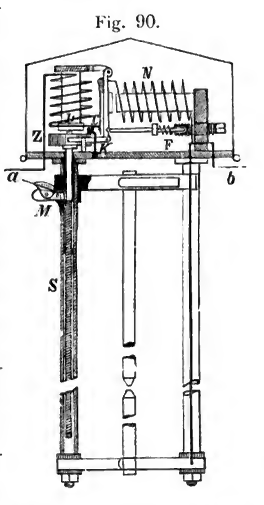
Flachdecklampe von Siemens & Halske.

Bei der Flachdecklampe von Siemens & Halske, welche in Fig. 90 schematisch dargestellt ist, wurde der hohe Aufbau des Regulirungsmechanismus vermieden, was namentlich für Innenbeleuchtung geschlossener Räume von Belang ist, weil man in diesen Fällen die starken Bogenlichter möglichst nahe an der Decke anbringen soll. Die Hauptbestandtheile derselben sind der im Nebenschlusse zum Lichtbogen geschaltete Elektromagnet *N* mit Selbstunterbrechung bei *C*, die Abreissfeder *F* für dessen Anker, das Zahnrad *Z* mit seiner Schraubenspindel *S*, die dazu gehörige Mutter bei *M*, welche den oberen Kohlenträger trägt, und der den Lichtbogen bildende Elektromagnet *D*.

Stehen die Kohlen ausser Berührung, so geht der bei *a* eintretende schwache Strom durch die Windungen des Elektromagnetes *D*, über den Contact bei *C* in die feindrähtige Bewicklung des Magnetes *N* und verlässt bei *b* die Lampe. Der Magnet *N* zieht seinen Anker

an und unterbricht dadurch den Stromkreis durch Aufhebung des Contactes bei *C*; sofort reisst aber die Feder *F* den Anker wieder ab und stellt abermals den oben angegebenen Stromweg her. Diese Vorgänge wiederholen sich und bewirken eine hin- und hergehende Bewegung von *K*, wodurch das Zahnrad *Z* gedreht wird, so zwar, dass die mit ihr verbundene Schraubenspindel ihre Mutter, und somit auch den oberen Kohlenträger herabschraubt.

Fig. 90.



Sind in dieser Weise die Kohlen mit einander zur Berührung gebracht, so steht dem Durchgange des Stromes ein Weg von viel geringerem Widerstande als über die dünndrähtigen Windungen von *N* offen. Es geht dann nämlich ein Strom, und zwar ein starker Strom, von *a* über *D* bei *K* in das Lampengestelle, durch den oberen und unteren Kohlenträger und verlässt durch den Draht *c b* die Lampe. Hierdurch erlangt der Magnet *D* hinlängliche Kraft, um seinen Anker, welchen das eiserne Rad *Z* bildet, anzuziehen; damit werden die Spindel, ihre Mutter und der obere Kohlenträger gehoben und der Lichtbogen entsteht. Nimmt der Widerstand im Stromkreise des Lichtbogens infolge des Abbrennens der Kohlen zu, also die Strom-

stärke ab, so steigt letztere in den Windungen des Elektromagnetes *N* und dieser veranlasst wieder in der vorhin angegebenen Weise ein Herabschrauben der oberen Kohle.

Um beim Einsetzen der Kohlen den oberen Kohlenträger rasch hinaufschieben zu können, hat man den Handgriff bei *M* zu heben, wodurch die Mutter ausser Eingriff mit der Schraubenspindel gebracht wird.

* * *

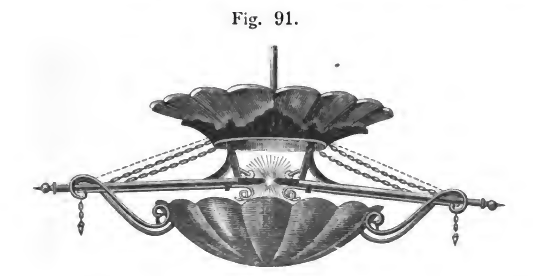
Eine nächste Gruppe von Lampen umfasst jene Constructionen, welche sich der Wärmewirkung des elektrischen Stromes bedienen, um die Regulirung zu bewirken und eine andere Gruppe solche, welche von den Gesetzen der Hydraulik Gebrauch machen. Zur ersten Gruppe gehören Lampen von Lontin, Siemens, Edison, Solignac, Pollak und Thouvenot, zur letzteren z. B. die Lampen von Lacassaque und Thiers, Sedlaczek und Wikulill.

Lampe von Solignac.

Fig. 91 stellt die ganze Lampe, zum praktischen Gebrauche montirt, dar, Fig. 92 zeigt ihre Construction. Die Kohlen KK_1 sind beiläufig 50 *cm* lang und horizontal angeordnet. Sie werden durch zwei Federgehäuse *F* und zwei Schnüre oder Ketten *S*, welche sich um die Rollen *R* schlingen, gegeneinander bewegt, indem die freien Kohlenenden mit den Rollen *R* verbunden sind und letztere in den Führungsstangen TT_1 geführt werden. Die Kohlen sind an ihrer Unterseite mit dünnen Glasstäben *G* versehen, deren dem Voltabogen zuge-

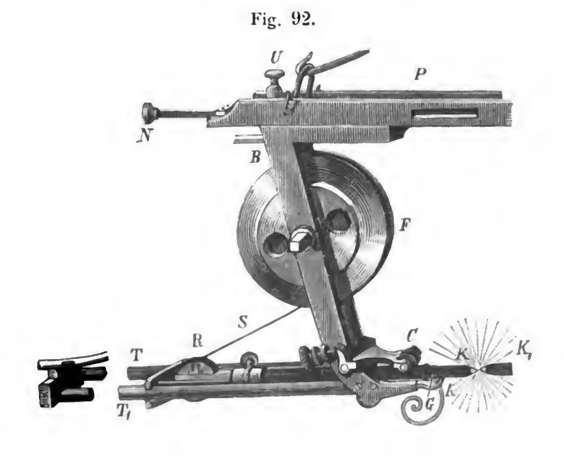
kehrte Enden, in kleiner Entfernung von diesem, gegen die Nickelansätze *A* stossen, deren Stellung durch

Fig. 91.



Schrauben fixirt werden kann. Der Strom wird durch die Klemmschrauben *U*, das Gestelle und die Contact-

Fig. 92.



rollen *C* zu den Kohlen geleitet und tritt in diese ganz nahe dem Voltabogen ein, wodurch ermöglicht wird, dass der Strom während der ganzen Brenndauer der Lampe nur durch ein paar Centimeter Kohle zu gehen braucht. Das Ganze ist durch die Platte *P* und die Backen *B*, welche gleichzeitig zur Stromleitung dienen, gehalten. Mit der Schraube *N* kann die Entfernung der beiden Lampenhälften vergrössert oder verkleinert werden und durch sie wird auch beim Beginne des Brennens der Bogen gebildet.

Die Kohlen werden in ihrem Bestreben, gegeneinander zu rücken, nur durch die bei *A* an die Nickelansätze stossenden Glasstäbe gehindert; da aber die Ansätze in unmittelbarer Nähe des Bogens sich befinden, und die Wärme, welche letzterer aussendet, sehr bedeutend ist, geschieht es, dass bei einer gewissen Länge des Bogens das Glühen der Kohlen die Ansätze und die daranstossenden Glasstäbe so stark erhitzt, dass letztere weich werden und sich dann, wie die Figur zeigt, zurückkrümmen. Dies geschieht unter Einfluss des Druckes, mit welchem die Kohlen vermöge der Feder *F* sich einander zu nähern streben. Im selben Maasse, als die Kohlen abbrennen, erneuert sich der eben angegebene Vorgang, und da er sich in unmerkbarer und continuirlicher Weise vollzieht, bemerkt man auch weder ein Zucken noch ein Schwanken im Lichtbogen. Die Regulirung des Lichtbogens wird also nur durch einen von ihm selbst erzeugten Effect, die Wärme, bewerkstelligt, nicht durch irgend eine seiner Natur fremde Vorrichtung wie bei anderen Regulatoren.

Lampen von Pollak.

Eine Form dieser ausserordentlich einfachen Lampe ist in Fig. 93 abgebildet.*) Längs einer Latte *f* von beiläufig 2 *m* Länge sind zwei Messingdrähte *a a'* von 0·4 bis 0·5 *mm* Durchmesser gespannt; sie sind an ihren oberen Enden an den beiden Lampenklemmen befestigt und an ihren unteren Enden durch zwei Federn *b b'* in Form von Doppelspiralen gespannt; diese sind aus einfachen Messingdrähten hergestellt, an seitlichen Ausweitungen mit den Drähten *a a'* verlöthet und mit ihren oberen geraden Enden an den Seiten der Latte befestigt. Nach abwärts zu gehen sie zunächst in gerade Stücke *d d'* über und enden schliesslich in horizontal liegenden Spiralen, welche zur Aufnahme der Kchlen *e e'* dienen. Um die Kohlen ununterbrochen in derselben Ebene einander gegenüber zu erhalten, werden die geraden Stücke *d d'* in entsprechend gebogenen Schleifen *c c'* von gleichfalls an der Latte befestigten Drähten geführt. Die Länge der Hebelarme *d d'* beträgt beiläufig 10 *cm*, während die Entfernungen der Mittelpunkte der Spiralen *b b'* von ihren Verbindungspunkten mit den Drähten *a a'* 2 *cm* ausmacht, so dass also die Bewegungen im Verhältnisse von 1 : 5 erfolgen.

Im gewöhnlichen Zustande beträgt die Entfernung der Kohlenhalter von einander beiläufig 3 *cm*; sind die Kohlen eingesetzt, so trägt man Sorge dafür, dass diese Entfernungen je 4·5 *cm* ausmachen, so dass man also eine Entfernung von 6 *cm* erhält, welche einer Verlängerung der Drähte *a a'* von beiläufig 6 *mm* entspricht.

*) L'électricité. Vol. XII (1888), p. 229.

Gelangt ein Strom in diese Lampe, so fliesst er durch die Messingdrähte, erhitzt sie und, hierfür einen gewissen Werth vorausgesetzt, dehnt dieselben aus, wodurch die Federn *b b'* in die Lage kommen, sich entsprechend aufzudrehen, dadurch die Kohlen von einander zu entfernen und den Lichtbogen zu erzeugen.

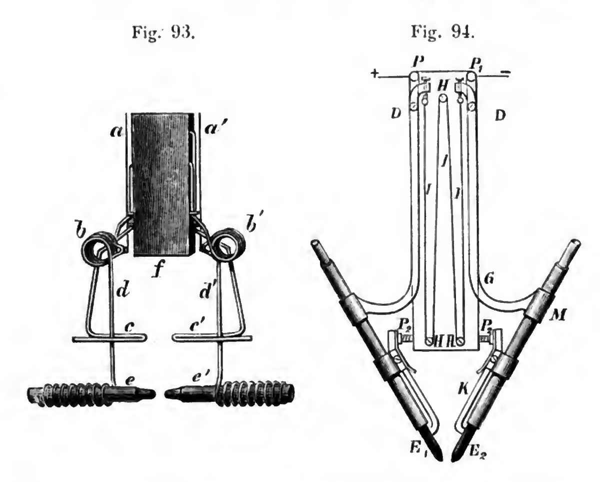


Fig. 93. Fig. 94.

Seine Länge ist bestimmt durch Herstellung des Gleichgewichtes zwischen den Spannungen der Spiralfedern und der Messingdrähte, sowie durch die Stärke des auf constante Spannung erhaltenen Stromes. Im selben Maasse, als die Kohlen abbrennen, nimmt der Widerstand des Lichtbogens zu und die Stromstärke ab; die Messingdrähte verkürzen sich und bringen die Kohlen einander näher. Der Strom vermindert sich hierbei mit

der Brenndauer der Lampe; die hiermit verbundene Abnahme der Leuchtkraft hat jedoch für eine Lampe dieser Art keine besondere Bedeutung.

Die oben angegebenen Stärken für die Drähte wurden unter der Voraussetzung mitgetheilt, dass die Stromstärke 5 *A* beträgt und die Drähte auf ungefähr 120^0 erhitzt werden. Die Brenndauer der Lampe beträgt beiläufig 3 Stunden.

Eine zweite verbesserte Form dieser Lampe ist in Fig. 94 abgebildet.*) Die beiden metallischen Kohlenträger *G* sind bei *D* drehbar befestigt. Der Metalldraht *I*, dessen Länge und Stärke entsprechend bemessen sind, ist über *HH* geführt und an seinen Enden an die kurzen Hebelarme der Kohlenträger befestigt; er bildet einen Nebenschluss zum Hauptstromkreise. Am unteren Ende der Latte sind zwei regulirbare Schrauben P_2 angebracht, gegen deren Köpfe sich die Hebel *K* mit ihren kürzeren Enden, leicht federnd, anlegen, während die längeren Hebelarme die Kohlen einseitig in ihren Führungsröhren andrücken und dadurch das Herausgleiten hintanhalten.

Der bei *P* eintretende Strom theilt sich in zwei Zweige, der eine bildet den Lichtbogen und der andere geht durch den Draht *I*. Die Kohlen brennen ab, der Widerstand im Lichtbogen nimmt zu, und daher auch die Stromstärke im Drahte; dieser wird stärker erwärmt und dehnt sich aus. Die um *D* drehbaren Hebel *G* drehen sich und suchen die Kohlen einander zu nähern; ihr Gewicht verstärkt den durch die Schrauben P_2 ausgeübten Druck auf die Federn *K*; diese weichen

*) La lumière électrique. T. XXXI (1889), p. 2?7.

ein wenig zurück und gestatten dadurch den Kohlen gegeneinander herabzugleiten. Nun nimmt der Bogenwiderstand ab, der Draht *I* erkaltet, zieht sich zusammen und sucht die Kohlenträger von einander zu entfernen. In dieser Weise vollzieht sich die Regulirung fortwährend durch Wiederholung dieser zwei Operationen.

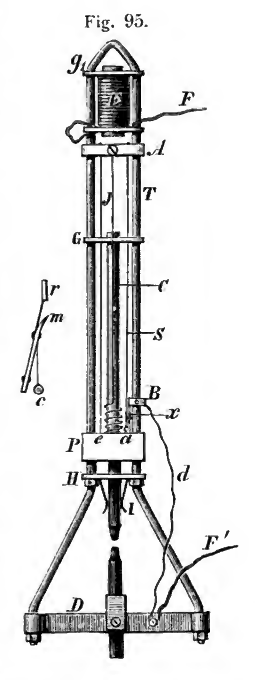
Lampe von Thouvenot.

Bei dieser Lampe ist gleichfalls die durch die Wärmewirkung des Stromes bedingte Längenänderung von Drähten zur Regulirung benützt. Während jedoch die Function der Lampe von Pollak sich ändert, wenn die Ausdehnung der Drähte eine gewisse Grenze überschreitet, ist bei der Lampe von Thouvenot dieser Uebelstand dadurch beseitigt, dass nach Ablauf einer gewissen Zeit und nach Erreichung einer bestimmten Ausdehnung der Drähte, diese wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgeführt werden und dann neuerdings in derselben Weise wirken.

Das Gestelle dieser Lampe (Fig. 95) ist aus einer Eisenstange *T* gebildet, deren Enden durch ein Querstück *D* isolirt mit einander verbunden sind. Auf diesem Gestelle ist ein mit Windungen starken Drahtes versehener Elektromagnet *E* befestigt, dessen Armatur *A* auf zwei Stäben ruht und unter Vermittlung der isolirten Platindrähte *S* die Masse *P* trägt; das Drahtende bei *a* ist von *P* isolirt. Dieses Ende *a* ist mit einer eigenthümlichen Contactvorrichtung *B*, und diese wieder durch den Draht *d* mit der zweiten Lampenklemme verbunden. Ferner endet der an der Armatur befestigte

Draht J unten in einer Spirale, welche die obere Kohle umfasst.

Fig. 95.



Im Ruhezustande sind die Kohlen etwas weiter von einander entfernt als bei normaler Länge des Lichtbogens. Tritt der Strom in die Lampe, so geht er von F über den Elektromagnet E in das Lampengestelle, durch die Platindrähte S zum Contacte B und über d zur zweiten Lampenklemme: Die Drähte dehnen sich kräftig aus, die Kohlen gelangen zur Berührung, die Armatur A wird angezogen, hebt die Masse P und im selben Momente durch die Spirale x die obere Kohle, und der Lichtbogen entsteht. Seine Länge wird dann bestimmt durch den Zweigstrom, welcher vom Lampengestelle durch die Drähte S und über B und d nach F fliesst. Im Maasse, als die Kohlen abbrennen, nimmt dieser Zweigstrom zu, die Masse P sinkt und gleichzeitig führt x die Kohlen gegeneinander.

Diese Regulirung würde jedoch bald zu Ende sein, ohne Mitwirkung der Vorrichtung in B. Diese besteht aus einer am Gestelle befestigten Klammer, welche

eine schwache Platinfeder r trägt, deren eine Seite mit einer Glimmerplatte bedeckt ist. Auf dem Drahte S ist ein kleines Stäbchen c befestigt. In dem Maasse, als sich der Draht verlängert, gleitet c längs r links, und der Zweigstromkreis ist geschlossen, aber am Ende von r angekommen, geht c auf die andere Seite und nun ist dieser Stromkreis unterbrochen, die Drähte erkalten und die Masse P steigt aufwärts. Aber in diesem Momente, wo die Spirale x die Kohlen nicht gegeneinanderführt, springt der Stift c, sobald der obere Theil von m erreicht ist, wieder auf die andere Seite über und die Regulirung beginnt neuerdings.

Die Brenndauer dieser Lampe ist nur durch die Länge der Kohlenstäbe bedingt. Um die störende Einwirkung von Luftzug auf die Erwärmung der Drähte hintanzuhalten, wird der ganze Apparat mit einem Kupferrohre umschlossen.

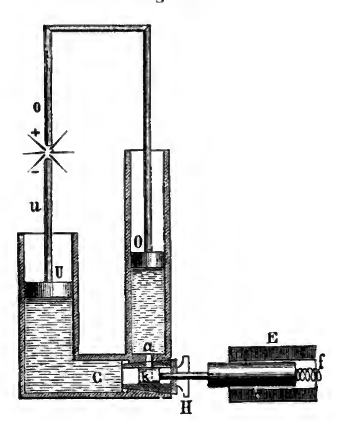
Lampe von Sedlaczek-Wikulill.

Der Flüssigkeitsdruck wurde bereits im Jahre 1855 von Lacassagne und Thiers zur Regulirung des Lichtbogens bei einer Differentiallampe benützt, ohne dass aber damals ein praktisch verwendbares Resultat erreicht worden ist. In neuerer Zeit ist es aber Sedlaczek und Wikulill gelungen, dieses Princip zur Construction einer Locomotiv- und Schiffslampe in praktischer Weise zu verwerthen.

Bei diesen Lampen erfolgt die Regulirung dem Principe nach durch Anwendung zweier vertical stehender cylindrischer und mit einander communicirender Röhren, die mit Glycerin gefüllt sind, auf welchem

zwei luftdicht schliessende Kolben sich bewegen, so dass, wenn der eine Kolben sinkt, der andere steigen muss. Das Einleiten dieser Bewegung erfolgt nach zwei Methoden: entweder unter Zuhilfenahme eines Elektromagnetes oder durch einen Centrifugalregulator; die erste Methode soll nachstehend beschrieben werden.

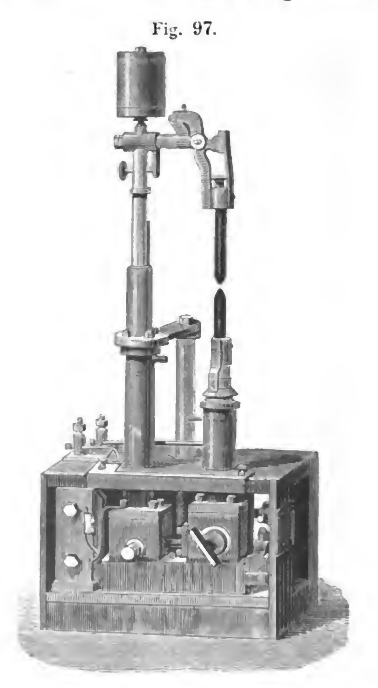
Fig. 96.



Die Lampe mit Elektromagnet zeigt Fig. 96 schematisch, Fig. 97 in perspectivischer Ansicht. Die Kohlenstäbe *o* und *u* sind mit den Kolben *O* und *U* fest verbunden; die Durchmesser der letzteren sind so bemessen, dass *O* als Träger der oberen, positiven Kohle immer den doppelten Weg zurücklegt, wie *U*, der Träger der unteren negativen Kohle. Das Resultat dieser Einrichtung ist, dass der Lichtpunkt in constanter

Höhe erhalten wird, was bei dieser Lampe gefordert werden muss, da sie mit einem Reflector versehen ist. Der Kolben *O*, massiv und schwer gearbeitet, drückt

Fig. 97.



auf die Flüssigkeit, und hebt dadurch den Kolben *U*, während er selbst sinkt; die Bewegung dauert so lange an, bis sie an der Berührung der beiden Kohlen *o* und *u* auf ein Hinderniss stösst. Die Berührung der Kohlen

schliesst aber den Stromkreis und setzt hierdurch den gleichfalls eingeschalteten Elektromagnet E in Thätigkeit. Dieser zieht mit Hilfe seines Eisenkernes den Kolben k aus dem Hahn H heraus, und hebt dadurch die Verbindung zwischen beiden verticalen Cylindern auf; durch den Rückgang des Kolbens k ist jedoch gleichzeitig die Flüssigkeit unter dem Kolben U gesunken, also auch die Entfernung der Kohlen o und u von einander etwas erweitert worden, und der Lichtbogen entstanden. Durch das Abbrennen der Kohlen vergrössert sich ihre Entfernung und somit auch der Widerstand im Schliessungsbogen, der Magnet E wird schwächer und die Feder f drückt den Kolben k wieder in den Hahn H hinein. Dadurch ist die Communication zwischen den beiden verticalen Röhren wieder hergestellt, der Kolben U presst vermöge seines Gewichtes wieder Flüssigkeit unter den Kolben O, und die beiden Kohlen nähern sich einander so lange, bis ihre Distanz so klein geworden, dass der Widerstand des Stromkreises so schwach ist, also der Strom, respective der Magnet, wieder die ursprüngliche Grösse erreicht hat, um durch Anziehung des Eisenkernes die Communication der verticalen Flüssigkeitssäulen neuerdings aufzuheben. Dieses Spiel geht stetig, ohne merkbaren Einfluss auf die Constanz des Lichtes auszuüben, vor sich. Um das Einsetzen neuer Kohlen leicht und rasch zu ermöglichen, gestattet der Hahn durch eine zweite Stellung die Verbindung der beiden verticalen Röhren durch eine weite Bohrung.

* * *

Schliesslich mögen noch zwei Bogenlampen Erwähnung finden, welche dadurch gekennzeichnet erscheinen, dass sie gar keiner besonderen Einrichtung für den Nachschub der Kohlen und für die Regulirung dieses Nachschubes bedürfen, da die Entfernung der beiden Kohlenstäbe von einander durch Zwischenlagerung eines nicht leitenden Materials dauernd fixirt ist. Zu diesen Lampensorten zählen die elektrischen Kerzen im engeren Sinne, die Soleil-Lampe u. a.

Der Erste, welcher eine elektrische Kerze construirte, war der Physiker William Edward Staite im Jahre 1846. Eine seiner Constructionen bestand darin, dass er zwei Kohlenstäbe unter einem spitzen Winkel auf eine Säule auftreffen liess, deren Material der Einwirkung hoher Temperaturen gut widersteht und die Elektricität nicht leitet. Die Kohlen waren in Röhren geführt und wurden durch Spiralfedern stets gegen die Säule angedrückt. Da die Säulen immer unter demselben Winkel zu einander geneigt blieben und immer in derselben Höhe auf die isolirende Säule auftrafen, musste natürlich die Entfernung der Kohlenspitzen von einander, also auch die Lichtbogenlänge immer gleich gross bleiben. Um die Kohlen für verschiedene Lichtbogenlängen oder Stromstärken einstellen zu können, machte Staite den einen Kohlenträger durch eine Schraube verstellbar.

Staite's Kerze mit V-förmig gestellten Kohlen bildet den Typus für die Kerzen von Gérard, Lescuyer Hedges, Rapieff, die Lampe Soleil u. s. w.

Im Jahre 1874 nahm Werdermann Staite's Idee neuerdings auf, allerdings nicht zur Construction einer

elektrischen Kerze, sondern für einen Gesteinsbohrer*), dieser ist aber unter Anwendung von Principien construirt worden, deren sich spätere Constructeure zur Lichterzeugung bedienten. Werdermann liess zwischen zwei zu einander parallelen und durch eine dünne Luftschichte von einander getrennten Kohlenstäben den Lichtbogen entstehen, und führte durch ein daneben gelegtes Rohr einen Luft- oder Dampfstrom zu. Der Effect war eine Art Löthrohrflamme von so hoher Temperatur, dass darin der härteste Granit in wenigen Secunden schmolz.

Die parallele Anordnung der Kohlenstäbe zur Erzeugung des Lichtbogens wurde später von Jablochkoff, Wilde, Jamin, Siemens, Debrun, Solignac-Andrew u. A. zur Construction ihrer Kerzen benützt.

Werdermann hat aber auch, bei einer im selben Patente beschriebenen Construction an Stelle des Blaserohres einen Elektromagnet angewandt, dessen Einwirkung auf den Lichtbogen eine ähnliche war, wie die des Blaserohres (Fig. 2 S. 25); hiermit wurde auch in dieser Richtung der Jamin'schen Kerze vorgearbeitet.

Die erste praktisch verwerthbare Kerze wurde aber von einem russischen Officier, Namens Jablochkoff, im Jahre 1876 erfunden. Ihrer Bedeutung für die Theilung des elektrischen Lichtes wurde bereits gedacht. Im Jahre 1878 folgten die Kerzen von Jamin und Wilde, darauf die von Rapieff, Gérard u. s. w.

---

*) H. Fontaine: L'eclairage électrique; deutsch von F. Ross II. Aufl., p. 63.

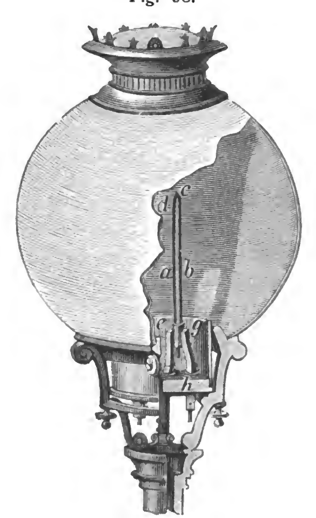
Kerze von Jablochkoff.

Diese Kerze ist hauptsächlich deshalb interessant weil sie den ersten in grossem Maasstabe ausgeführten und gelungenen Versuch der Theilung des elektrischen Lichtes darstellt. Sie besteht aus zwei parallelen Kohlenstäben *a*, *b* (Fig. 98), die durch eine Schichte Pariser Gyps von einander isolirt sind. Die unteren Enden der Kohlenstäbe stecken in Messingröhrchen gegen welche zwei Metallklemmen *e* und *g* federnd drücken. Durch letztere erfolgt die Zuleitung des Stromes in die Kerze; sie ist auf einer durchscheinenden Platte *h* befestigt. Um die Kerze anzünden zu können, befindet sich am oberen Ende derselben ein quer über beide Kohlenspitzen gelegtes Graphitblättchen *c*, das durch eine übergeklebte Papierschlinge *d* in seiner Lage erhalten wird.

Wird die Kerze in den Stromkreis eingeschaltet, so geht der Strom von dem einen Kohlenstäbchen durch das Graphitblättchen zum zweiten und wieder zur Stromquelle zurück; das Graphitblättchen wird glühend und verdampft. Nun bildet sich zwischen beiden Kohlen der Voltabogen, welcher durch seine Hitze die isolirende Zwischenschichte zum Schmelzen und Verdampfen bringt. Letztere wird in demselben Maasse verzehrt, als die Kohlen abbrennen. Da aber die positive Kohle beiläufig noch einmal so schnell abbrennt als die negative, so musste erstere, um ein gleichmässiges Abbrennen beider Kohlen zu erreichen, von doppelt so grossem Querschnitte als letztere genommen werden. Das Verhältniss ist jedoch kein genaues, die

Kerzen brennen deshalb doch ungleichförmig und so musste man zu Wechselströmen seine Zuflucht nehmen, durch welche bekanntlich beide Kohlen spitz und gleich schnell abbrennen


Fig. 98.



Eine Kerze von 220—225 *mm* Länge und 4 *mm* Durchmesser brennt bei einer Lichtstärke von 100 Carcelbrenner $1^1/_2$ Stunden.

In einen Stromkreis können mehrere Kerzen eingeschaltet werden und die Summe der Lichtintensität aller Kerzen ist grösser als jene Intensität, welche im selben Stromkreise erhalten würde, wenn man nur

eine Kerze eingeschaltet hätte. Es rührt dies daher, dass nicht nur der Voltabogen zwischen beiden Kohlen leuchtet, sondern auch die verdampfende Gypsschichte zur Gesammtlichtstärke beiträgt. Wegen der kurzen Brenndauer einer Kerze werden immer mehrere Kerzen in einer Lampe angebracht.

Trotz ihrer scheinbaren Einfachheit können sie heutzutage, wo eine grössere Anzahl von Lampen das Problem der Theilung des elektrischen Lichtes in vorzüglichster Art gelöst hat, nicht mehr empfohlen werden, da ihre Anwendung eine Reihe von Uebelständen mit sich führt, die sehr lästig werden können. Das Licht ist unruhig, flackernd und wechselt häufig die Farbe; erlischt eine Kerze, so erlöschen im selben Stromkreise alle, oder wenn dies durch irgend welche Vorrichtung mehr oder weniger sicher verhindert wird, zündet sich eine einmal erlöschte Kerze nicht mehr selbstthätig an. Die elektrischen Kerzen bedürfen der Wechselstrommaschinen, weshalb sie auch alle Nachtheile, welche die Anwendung dieser mit sich bringt, zeigen müssen. Sie werfen ihr Licht nach oben, statt gegen den Boden. Dieser Uebelstand ist bei der Kerze von Jamin allerdings vermieden, dafür entbehrt diese aber der Einfachheit der Jablochkoff-Kerze, ohne die Vorzüge einer gut construirten Regulatorlampe zu besitzen.

Ferner brennen die Kohlen in der Kerze viel schneller ab als in einem Regulator und machen dadurch den Betrieb einer Beleuchtungsanlage viel theurer als die Anwendung von Regulatoren.

Lampe von Street & Maquaire.

Bei der von Street & Maquaire construirten Soleil-Lampe werden die Kohlenstäbe *B* und *C* (Fig. 99) durch einen Marmorblock auseinander gehalten, der ausser mit den zur Einführung der Kohlen dienenden Bohrungen noch mit einer trichterförmigen Oeffnung *A* versehen ist; durch diesen Trichter, der gleichzeitig als Reflector wirkt, sieht man den Voltabogen. Das die Kohle *C* durchdringende Kohlenstäbchen *D* dient zum Anzünden der Lampe. Der Marmorblock ist in eine eiserne Büchse *a b* (Fig. 100) eingeschlossen, welche behufs Einführung der Kohlen mit den Röhren *c d* versehen ist. Die Gegeneinanderbewegung der Kohlen besorgen die Spiralfedern *f f*, durch ihre Winkelhebel, deren Arme *h h* auf die freien Kohlenenden drücken. Sind die Kohlen verzehrt, so legen sich die Armee *k k'* dieser Hebel gegen die Contacte *m m'* und schalten dadurch die Lampe aus, weil sowohl der Contact *m* durch den Draht *l l* mit dem Hebel *k' h'* und der Polklemme *S'* leitend verbunden ist, als auch der Contact *m'* mit dem Hebelsystem *h k* und der dazu gehörigen Polklemme *S* der Lampe in leitender Verbindung steht.

Das selbstthätige Anzünden wird in nachstehender Weise bewirkt. Der dünne Kohlenstab *D* (Fig. 99) ist an einer Metallstange *o o* (Fig. 100) befestigt, welche durch die Schraube *u* an die Eisenröhre *r* geklemmt wird. Ein kleines Gewicht *p* bewegt die Stange *o* mit ihrem Kohlenstäbchen und der Röhre durch den engen Canal des Marmorblockes, bis das Stäbchen gegen die

Kohle *B* (Fig. 99) anstösst. Die Röhre *r* ist von einem weiteren Rohre eingeschlossen, welches bei *E* ein Solenoid trägt, dessen Windungen vom Lampenstrome durchflossen werden, bevor dieser noch in die Lampe selbst gelangt. Der Metallstab *o* ist mit den Drahtwindungen des Solenoides durch eine Zweigleitung

Fig. 99.

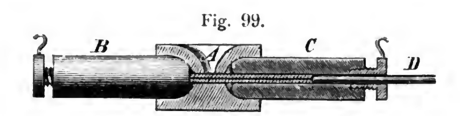
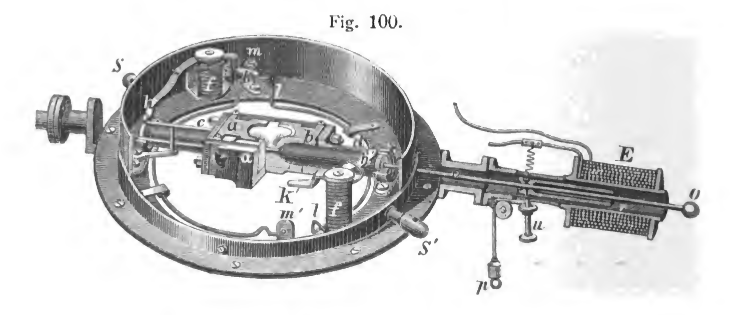


Fig. 100.



(bei der Schraube *u*) verbunden. Sobald nun der Strom die Drahtwindungen von *E* durchfliesst, zieht das Solenoid die Eisenröhre an und bewegt dadurch den Stab *o* mit seinem Kohlenstabe von der mit ihm in Berührung gestandenen Lampenkohle weg. Gleichzeitig geht aber durch die Zweigleitung ein Strom in die Stange *o*, das Kohlenstäbchen und zur gegenüberliegenden Lampenkohle, wodurch zwischen letzterer

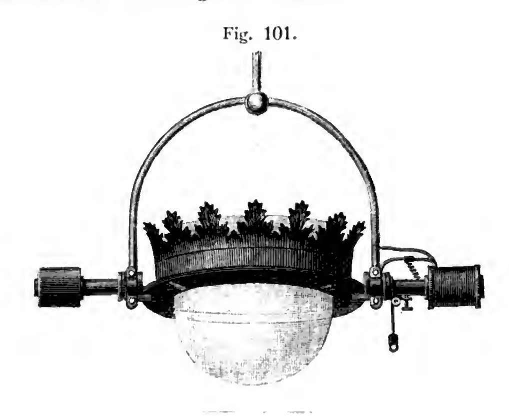
und dem Kohlenstäbchen ein kleiner Voltabogen gebildet wird. Ist dann das Kohlenstäbchen bei seiner Rückbewegung ganz in den Hohlraum der hohlen Lampenkohle hineingelangt, so ist hierdurch der Schluss des Hauptstromes zwischen den beiden Lampenkohlen hergestellt und der Voltabogen zwischen diesen gebildet. Diese Vorgänge spielen sich nicht nur beim ersten Anzünden der Lampe, sondern natürlich auch dann ganz in derselben Weise ab, wenn die Lampe aus irgend einer Ursache erlöschen sollte.

Die Lampe kann sowohl mit Wechselströmen, als auch mit gleichgerichteten Strömen betrieben werden und erzeugt ein sehr ruhiges Licht. Selbst ein sehr starkes Schwanken der Stromstärke bewirkt noch kein Erlöschen des Bogens, da der weissglühende Marmor den elektrischen Strom leitet und daher dieser schon längere Zeit sehr geschwächt oder ganz unterbrochen sein muss, bis die Abkühlung des Marmors so weit fortschreitet, dass die Lampe erlischt. Sie kann infolge ihrer Construction in jeder gewünschten Lage, z. B. auch mit nach oben gekehrtem Voltabogen (wie dies in den beiden Figuren dargestellt ist) verwendet werden. Der Marmorblock dauert mindestens 15 Stunden und von den Kohlen verbrennen beiläufig 2 *mm* pro Stab und Stunde. Die normale Länge der Kohlen beträgt 10 *cm*, doch können auch Kohlenstücke zur Verwendung kommen. Nach den Angaben der Ingenieure der Gesellschaft bedarf eine Lampe von 90 Carcelbrenner Lichtstärke eines Kraftaufwandes von $1^1/_2$ *HP*, eine Lampe von 120 Carcelbrenner von 2 *HP*. Der Preis der Lampe beträgt 200 Francs, der Lampenkohle

pro *m* 3 Francs, der Anzündekohle 75 *cm* pro *m* und des Marmorblockes 75 Centimes.

In Fig. 101 ist schliesslich eine vollständig montirte Lampe dargestellt. Diese ist in zwei Zapfen drehbar aufgehängt und lässt sich durch diese in jede beliebige Lage drehen und in dieser feststellen, wodurch man es in der Hand hat, den Hauptlichteffect in jeder gewünschten Richtung zu erhalten.

Fig. 101.



Wenn hier nur die Jablochkoff-Kerze und die Soleil-Lampe aus dieser Lampengruppe beschrieben werden, so geschieht dies nicht etwa deshalb, weil diese eben nur wenige Lampenconstructionen umfasst, sondern im Gegentheile, weil es trotz vielfacher Versuche*), wenig-

*) Vergl. z. B. Urbanitzky: Elektricität im Dienste der Menschheit. Wien 1885, S. 686—698. — La lumière électrique, Tome IV (1883), p. 310: Selenium-Lampe von Tommasi. —

stens bis nunzu, nicht gelungen ist, Resultate zu erzielen, die sich praktisch brauchbarer oder auch nur ebenso brauchbar darstellen, als die mit den Lampen der vorbesprochenen Gruppen erzielten.

III.

Erzeugung der Glühlampen und der Kohlen für Bogenlicht.

Im ersten Abschnitte vorliegenden Werkes wurde darauf hingewiesen, dass bei fast allen vom praktischen Standpunkte aus in Betracht kommenden Beleuchtungsmethoden der Kohlenstoff den Träger der Lichterscheinung bildet. Während jedoch bei den älteren Beleuchtungsmethoden nicht schon der Kohlenstoff als solcher Verwendung findet, sondern erst durch die Flamme aus den benützten kohlenstoffhaltigen Substanzen ausgeschieden wird, kommt bei der elektrischen Beleuchtung der Kohlenstoff selbst direct zur Anwendung. Die Herstellung hierzu geeigneter Kohlen, einerseits für das Glühlicht, anderseits für das Bogenlicht, bildet daher einen ganz speciellen, höchst wichtigen Zweig der elektrischen Beleuchtungsindustrie. Während ferner die Anfertigung von Bogenlampen sachlich keinerlei neuartige, früher nicht geübte Technik erfordert, sondern

Ibid., p. 315. — Ibid., T. XIV (1884), p. 271: Kerzenträger von Clariot. — Ibid., T. XVI (1885), p. 373: Kerzenträger von Bobenrieth. — Ibid., T. XXIX (1888), p. 268: Kerzenträger von Basilewsky — u. s. w.

mit denselben Mitteln und nach denselben Grundsätzen betrieben wird, die vorher der Herstellung anderweitiger Instrumente und Apparate dienten, so ist hingegen durch das Glühlicht eine vollkommen neue, vorher nicht gekannte und nicht geübte Technik geschaffen worden.

Es sollen daher in den nachstehenden Capiteln die Herstellung der Kohlen für Bogen- und Glühlicht, sowie die Erzeugung der Glühlampen näher beschrieben werden.

1. Die Erzeugung der Glühlampen.

So einfach die jetzt gebräuchlichen Glühlampen aussehen, so mannigfach sind die Arbeiten, welche bis zu ihrer Vollendung ausgeführt werden müssen. Nachdem man das Material zur Anfertigung des Kohlenbügels gewählt und einer vorbereitenden Behandlung unterworfen oder das Material selbst aus anderweitigen Stoffen erst hergestellt hat, wird dasselbe verkohlt; diesem Processe folgt das Carbonisiren oder Regeln des Leitungswiderstandes im Kohlenbügel, hierauf (oder auch vorher) sind Arbeiten sehr heikler Natur vorzunehmen, nämlich das Befestigen der Kohlenbügel auf den Platindrähten und das luftdichte Einschmelzen dieser in die Glaskugel oder Birne. Ist dies geschehen, so muss letztere luftleer gemacht und hierauf zugeschmolzen werden. Doch auch hiermit ist die Lampe noch nicht vollendet, es fehlen ihr noch jene Anschluss- oder Vermittlungstheile, welche es ermöglichen, die Glühlampe in einen Stromkreis zu schalten. Erst

nachdem sie diese Montage oder Fassung erhalten hat, ist sie gebrauchsfähig. Von den mannigfachen Verfahren, welche bei allen diesen Arbeiten eingeschlagen werden*), mögen einige nachstehend Andeutung finden.

Was zunächst das Material anbelangt, welches zur Herstellung der Kohlenbügel Verwendung gefunden hat, so sind zu nennen: Retortenkohle (bei den ältesten Glühlampen), elektrisch niedergeschlagene Kohle (z. B. Cruto), verkohlte Fasern verschiedener Art (z. B. Swan, Maxim, Edison), verkohltes Collodium (z. B. Weston) und endlich werden auch thierische Producte, wie Seide, Darmsaiten und Haare, und ferner auch chemische Niederschläge versucht.

Die Herstellung der Kohlenbügel durch Niederschlagen der Kohle auf elektrischem Wege, wie sie von Cruto angegeben wurde, ist bereits mitgetheilt worden (S. 87). Bonne und St. George überziehen den Platindraht zunächst mit Platinmoor und bringen ihn dann erst in einem flüssigen Kohlenwasserstoffe

*) La lumière électrique, Tome IX (1883), p. 60; T. XI (1884), p. 180; T. XIII (1884), p. 214; T. XIV (1884), p. 491; T. XV (1885), p. 117; T. XXVII (1888), p. 112, 209, 377; T. XXIX (1888), p. 478; T. XXX (1888), p. 109; T. XXXI (1889), p. 32; T. XXXII (1889), p. 33; T. XXXIII (1889), p. 10; T. XXXIV (1889), p. 308, 378. — Journal of the Society of Arts, 25. Dec. 1885. — Scientific American, Vol. XLVIII. — Centralblatt für Elektrotechnik, Bd. IX (1887), S. 183, 384. — Elektrotechnische Rundschau, Bd. I (1883), S. 57, 70; Bd. IV (1887), S. 88, 99, 111, 135; Bd. V (1888), S. 8, 23. — Elektrotechn. Zeitschr., Bd. VIII (1887), S. 298. — Zeitschrift f. El., Bd. III (1885), S. 434. — Dingler, Polytechn. Journal, 66. Jahrg., Bd. 255 (Heft 6), S. 245. — The Electrician, Vol. XVIII, p. 60, 98, 121, 187, 255, 286, 303, 323, 346, 368, 418.

zum Glühen. Ist dann ein hinreichender Kohlenniederschlag erfolgt, so kommen die Bügel in Königswasser, in welchem sich die feine Platinmoorschichte zwischen dem Kohlenröhrchen und dem Platindrahte sofort auflöst, so dass letzteres leicht entfernt werden kann. Boulon, Probert und Soward erzeugen Kohlenfäden, indem sie zwischen Metallspitzen in einer Kohlenwasserstoff-Atmosphäre Inductionsfunken überspringen lassen; der sich hierbei ausscheidende Kohlenstoff bildet ein Kohlenstäbchen, welches die beiden Metallspitzen zu verbinden strebt.

Wichtiger und als gegenwärtig fast ausschliesslich verwendetes Material ist jedoch die vegetabilische Kohle zu bezeichnen, wobei man wieder zwischen solcher von organischer Structur und zwischen structurloser oder amorpher Kohle zu unterscheiden hat. Kohlen erster Art stehen z. B. bei den Lampen von Edison (S. 61) und Lane Fox (S. 82) in Verwendung. Gegenwärtig scheint das Bestreben, structurlose Kohlen zu erhalten, immer allgemeiner zu werden. Man erreicht dies entweder dadurch, dass man dem Materiale durch geeignete Behandlung seine ursprünglich vorhandene Structur benimmt, oder dass man sich zur Herstellung der Bügel einer überhaupt schon structurlosen Masse bedient. Den ersten Weg schlugen z. B. Swan (S. 76) und Maxim ein, indem sie Baumwolle, beziehungsweise Papier mit Schwefelsäure behandelten und dadurch die organische Structur zerstörten. Weston hingegen bereitet sich zunächst eine vollkommen structurlose Masse, das Tamidin (S. 82), und stellt erst aus dieser die Bügel her.

Die Cellulose oder Pflanzenfaser ($C_6 H_{10} O_5$) ist in einer ammoniakalischen Lösung des basischen Kupfercarbonates löslich und kann aus einer solchen Lösung im vollkommen reinen Zustande durch Ausfällen mit Säuren erhalten werden. Mit concentrirter Schwefelsäure zusammengebracht, quillt sie auf und löst sich allmählich, wird jedoch durch Zusatz von Wasser wieder ausgeschieden. Diese in chemischer und physikalischer Beziehung veränderte Cellulose heisst Amyloid*). Lässt man ungeleimtes Papier, welches fast reine Cellulose ist, einige Secunden in Schwefelsäure und Wasser (Verhältniss 2 : 1) liegen und wäscht es dann in Wasser gut aus, so erhält man das bekannte Pergamentpapier. Dieses verdankt sein pergamentartiges Aussehen der oberflächlichen Amyloidbildung.

Solches Amyloid ist es nun, welches man gegenwärtig aus Papier oder Pflanzenfasern irgend welcher Art herzustellen sucht und zwar zumeist unter Anwendung der Schwefelsäure, als des entsprechendsten Mittels. Das erste derartige Verfahren soll, nach Angabe Swinburne's, von Lane Fox für Papier und Baumwolle ausgeführt worden sein. Mit Rücksicht auf die Wichtigkeit dieses Processes ist es wohl gerechtfertigt, denselben etwas eingehender zu schildern. Swinburne äussert sich hierüber in nachstehender Weise.

Man versetzt concentrirte englische Schwefelsäure so lange mit Wasser, bis die Säure ein specifisches Gewicht von 1·64 erlangt hat. Die Baumwolle soll eine

*) Von Amylum, Stärkemehl, weil es mit diesem die Reaction gemein hat, durch Jod eine blaue Farbe anzunehmen.

möglichst lose Textur haben, dabei aber so gleichmässig als möglich sein. Die grösste Schwierigkeit bei dem Processe besteht darin, den Faden im richtigen Momente aus der Säure in das Wasser zu bringen, denn wird er zu früh ausgewaschen, so ist die organische Structur noch nicht völlig zerstört, nimmt man ihn zu spät heraus, so zerfällt er in Stücke. Bei Anwendung schwächerer Säure aber erfolgt die Umwandlung nicht vollständig genug. Bei der fabriksmässigen Darstellung wird daher der Faden, von einer Rolle kommend, unter einer Art Glasbrücke durch die Säure geführt und dann durch grosse Trommeln aus Kupferdrahtgaze aufgenommen und unter Wasser aufgerollt. Hierbei kann dann die Dauer der Säureeinwirkung durch die Länge des Bades und durch die Entfernung zwischen Säure und Wasserbad regulirt werden. Da die Säure von der angegebenen Stärke begierig Wasser anzieht, so muss das Bad möglichst dicht verschlossen werden, es empfiehlt sich aus verschiedenen Gründen, demselben einen Zusatz von Metaphosphorsäure zu geben.

Der mit grösster Sorgfalt ausgewaschene Faden wird dann vertical oder zickzackförmig aufgehängt und am Ende durch Gewichte beschwert. Hierauf folgt die äusserst schwierige Arbeit, den Faden auf das richtige Maass des Durchmessers zu bringen. Da hierbei auch der härteste Stahl in kürzester Zeit stumpf wird, ist nur mit Ziehvorrichtungen aus Rubinen oder ähnlichen Edelsteinen ein befriedigendes Resultat zu erzielen. Ist dies erreicht, so werden bestimmte Längen abgeschnitten, entsprechend gebogen und dann ist der Bügel, der fast durchsichtig erscheinen soll wie eine Darmseite und

ohne eine Spur unveränderter Baumwolle im Innern, zum Verkohlen fertig.

In ähnlicher Weise kann Papier entsprechend umgewandelt werden, wenn man es nicht vorzieht, das käufliche Pergamentpapier zu benützen. Die Erzeugung der Bügel erfolgt dann durch äusserst sorgfältiges Ausstanzen.

Lodiguine*) behandelt die vegetabilischen Fasern mit Borfluorid bei einer Temperatur von 300—570°; hierdurch soll sie gleichfalls structurlos werden, während gleichzeitig die mineralischen Bestandtheile als Fluoride entfernt werden. Tibbits**) tränkt die Fasern mit einer ammoniakalischen Lösung von Wolframsäure und erhitzt sie dann in einer Atmosphäre von Wasserstoffgas auf 1500—2000°. Die Wolframsäure wird hierdurch reducirt und es scheidet sich Wolfram als stahlgraues, glänzendes hartes Metall auf dem Bügel aus.

Das Verfahren, nach welchem Weston aus einer Celluloselösung seine Bügel formt, wurde bereits erläutert (S. 82). Denselben Weg schlagen auch die Verfahren von Mortimer, Evans, Powell und Wymre ein. Eine Lösung von Zink in Chlorwasserstoffsäure wird durch Zinkcarbonat neutralisirt und bis zur Erreichung des specifischen Gewichtes von 1·8 eingedampft. Hierauf versetzt man diese Lösung mit Baumwolle, bis eine hinreichend dicke Masse entstanden ist, die dann in ein Glasgefäss mit enger Ausflussöffnung gefüllt wird. Ist die richtige Consistenz getroffen, so erfolgt das Ausfliessen langsam und regel-

*) La lumière électrique, T. XXXIV (1889), p. 378.

**) Ebenda p. 379.

mässig und der sich bildende Faden rollt sich, nachdem er eine fixirende Flüssigkeit passirt hat und erstarrt ist, in schönster Regelmässigkeit auf dem Boden des Gefässes auf. Ist die Lösung zu dick, so muss sie mit Hilfe von comprimirter Luft durchgepresst werden, sind Luftblasen vorhanden, so entfernt man diese im Vacuum. Als fixirende, d. h. die Cellulose aus ihrer Lösung fällende Mittel können Alkohol, Aether, Essigsäure, Ammoniak, Glycerin oder Wasser angewandt werden. Nach dem Waschen und Trocknen zeigen diese Fäden hohe Politur und genaues Kaliber.

Cruto*) stellt sich durch Behandeln von Zucker mit Schwefelsäure eine ebensolche Masse von kautschukartigem Aussehen her und verfertigt aus dieser seine Fäden. A. Smith**) liess sich ein Patent geben auf ein Verfahren, nach welchem die Kohle chemisch niedergeschlagen wird durch Einleiten eines Chlorwasserstoff-Gasstromes in Furfurol ($C_5 H_4 O_2$). Verfahren, bei welchen thierische Fasern verwendet werden, wie z. B. Haare oder Seide, haben bis jetzt keine brauchbaren Producte gegeben, es sei denn, dass man, wie Ram die Seide auflöst und dann mit dieser Lösung so verfährt wie mit den Celluloselösungen.

Die nächste Behandlung, welche der in der einen oder andern Weise hergestellte Bügel zu erfahren hat, besteht in der Verkohlung desselben. Die organischen Substanzen des Bügels werden durch Glühen unter Luftabschluss in Kohle verwandelt, die desto härter, glänzender oder überhaupt graphitähnlich wird, zu je

*) La lumière électrique, T. XXX (1888), p. 110.

**) Elektrotechn. Rundschau, Bd. IV (1887), p. 101.

höherer Temperatur die Bügel erhitzt werden. Die Art des hierzu benützten Ofens richtet sich zum Theile auch nach der Grösse des Betriebes. Für grosse Betriebe eignen sich Reverberiröfen (Flammöfen), für kleinere Coaks- oder Gasöfen.

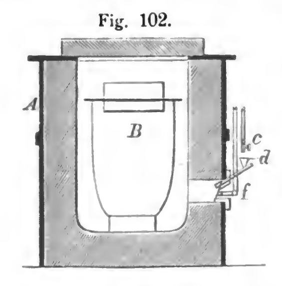
Sellon schlägt vor, das Verkohlen in Petroleum-Muffeln vorzunehmen, um hiermit bei noch höheren Temperaturen zu verkohlen als in den vorgenannten Oefen. Er setzt in die Muffel *A* (Fig. 102) den von einer dicken Schichte Asbest oder Kohle umgebenen Schmelztiegel *B* ein und setzt in diesen einen zweiten, die Bügel enthaltenden Tiegel. Das Petroleum wird Tropfen für Tropfen durch *cd* zugeführt, während durch *f* ein Luft- oder Dampfstrom bläst. Man erhitzt nach und nach mehrere Stunden hindurch und beendet den Process durch Einblasen von Sauerstoff, wodurch eine sehr hohe Endtemperatur erzielt wird. Man erhält hierdurch, namentlich bei Anwendung von Amyloid äusserst gleichartige, feste und harte Kohlenbügel, welche die Lampengläser sehr wenig schwärzen.

Zur Herstellung der Kohlenbügel aus den Amyloidfäden verfährt man im Allgemeinen in folgender Weise: Der Faden wird spiralförmig auf einen Rahmen gewunden, welcher aus zwei runden dicken Lichtkohlen und zwei Holzquerstücken besteht. Die Fäden ziehen sich nämlich beim Verkohlen stark zusammen, und daher muss man diesem Umstande durch Anwendung eines Querstückes aus solchem Materiale Rechnung tragen, welches im gleichen Maasse zusammenschrumpft. Der Abstand der beiden Lichtkohlen von einander kann so bemessen werden, dass eine Umwindung zwei

15*

Bügel gibt; da aber die grosse freie Länge leicht Unregelmässigkeiten verursacht, ist es besser, nur einen Bügel aus jeder Windung zu gewinnen. Die so bewickelten Gestelle werden dann in Papier eingeschlagen und so viel ihrer Raum finden, in den Tiegel eingesetzt. Der noch freibleibende Raum wird dann mit pulverisirter Kohle ausgefüllt und durch einen mit Kitt befestigten Deckel verschlossen. Gestanzte Bügel aus Amyloid legt man unter Zwischenlage von Calico in den Tiegel, beschwert sie mit einem Gewichte und verschliesst den Tiegel durch Aufkitten eines Deckels; ein Zusatz von Kohlenpulver ist hierbei nicht nothwendig.

Fig. 102.



Die durch Verkohlung im Ofen erhaltenen Bügel sind noch nicht zur Verwendung geeignet. Um dies zu erreichen, müssen sie erst von ihrem gewöhnlich sehr hohen Widerstande auf den gewünschten gebracht, d. h. sie müssen auf Widerstand justirt werden. Dies erfolgt durch das Carbonisiren oder Niederschlagen von Kohle auf elektrischem Wege. Bevor man hierzu schreiten kann, müssen aber die Dimensionen der Kohlenbügel bestimmt werden, wobei ziemlich grosse Genauigkeit erfordert wird. Denn besitzt eine Kohle einen Durchmesser von z. B. 0·009 Linien, und die Messung hat 0·008 Linien ergeben, so würde, nach Swinburne, die fertige Lampe in der Lichtstärke um 10 Procent und in der Spannung um 5 Procent falsch

sein. Uebrigens lässt sich bei genügender Sorgfalt eine Genauigkeit bis auf 0·0005 Linien erreichen.

Haben die Messungen verschiedene Durchmesser ergeben, so müssen die Kohlen sortirt werden; jedem Durchmesser entspricht dann eine bestimmte Länge, für welche z. B. eine 16 Kerzenlampe erzielt wird. Man berechnet diese Längen im Vorhinein, stellt sie tabellarisch zusammen und bestimmt dann mit Hilfe des in Fig. 103 abgebildeten Apparates die Bügellängen. Man legt nämlich den Kohlenbügel auf den vorher entsprechend eingestellten Apparat in der durch die Figur dargestellten Weise und schiebt dann über die freistehenden Enden des Bügels die Klammern, in welche er behufs Carbonisirung gefasst werden muss, bis diese gegen das Querstück des Apparates stossen. Die Kohle ist nun zum Carbonisiren bereit.

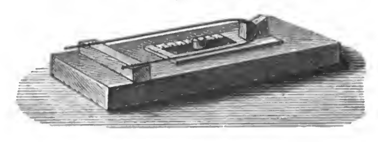
Das Carbonisiren oder Justiren auf Widerstand erfolgt, indem man den Kohlenbügel, eingeschlossen in einen gasförmigen, flüssigen oder festen*) Kohlenwasserstoff, durch den elektrischen Strom für einzelne Momente in Weissgluth versetzt. Die Weissgluth darf nur für Augenblicke erzeugt werden, weil im gegentheiligen Falle die Zersetzung der Kohlenwasserstoffe und die Abscheidung der Kohlentheilchen auf dem Bügel zu rasch und daher unregelmässig erfolgt. Da der Kohlenbügel sich an jenen Stellen am stärksten erhitzt, an welchen sein specifischer Widerstand am grössten ist, so werden auch zunächst diese Stellen von Kohlenmolecülen umlagert und hierauf erst Stellen von geringerem

*) Z. B. Karl Seel: La lumière électrique, T. XXX (1888), p. 110.

Widerstande. Wird das Carbonisiren fortgesetzt, so ist die Kohle in kurzer Zeit auf den gewünschten Widerstand gebracht und alle Punkte besitzen gleiche Temperatur, was für die Güte einer Lampe wichtig ist.

Wird das Carbonisiren in gasförmigen Kohlenwasserstoffen (z. B. Leuchtgas) bei gewöhnlichem Drucke vorgenommen, so bedient man sich hierzu einer Glasflasche, in welcher das Gas durch ein am Boden einmündendes Rohr eintritt und durch ein im oberen Theile der Flasche ausmündendes Rohr hinausgeleitet wird.

Fig. 103.



Die den Kohlenbügel haltenden Klammern sind an einem Stöpsel befestigt, so dass beim Einführen des Bügels in die Flasche diese auch gleichzeitig verschlossen wird. Will man unter geringerem als dem gewöhnlichen Luftdrucke carbonisiren, so muss das Glasgefäss natürlich mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt werden, durch welche man nach Einbringung des Kohlenbügels die Luft auspumpt, worauf man den Kohlenwasserstoff einströmen lässt, bis der gewünschte Druck, etwa 12 *mm*, erreicht ist. Das Justiren bei gewöhnlichem Drucke bringt den Widerstand der Kohle sehr rasch herab und gibt daher nicht so sichere Resultate als die Anwendung geringeren Druckes. Erstere Methode ist daher dann anzuwenden, wenn

der Widerstand sehr erheblich vermindert werden muss; doch auch in diesem Falle wird man gut daran thun, die Carbonisirung unter gewöhnlichem Drucke nur nahezu durchzuführen, die Vollendung aber unter geringerem Drucke zu geben.

Zur Stromlieferung bei dem Glühen der Kohlenbügel bedient man sich einer Maschine mit Nebenschlussschaltung oder einer solchen, bei welcher die Magnete durch einen besonderen Strom erregt werden. Die Spannung muss mindestens 200 *V* betragen. Bequemer ist es jedoch, Secundär-Elemente zu verwenden. Das Messen des Kohlenbügelwiderstandes während des Carbonisirens geschieht am zweckmässigsten durch Einschalten des Bügels in die Wheatstone'sche Brücke.

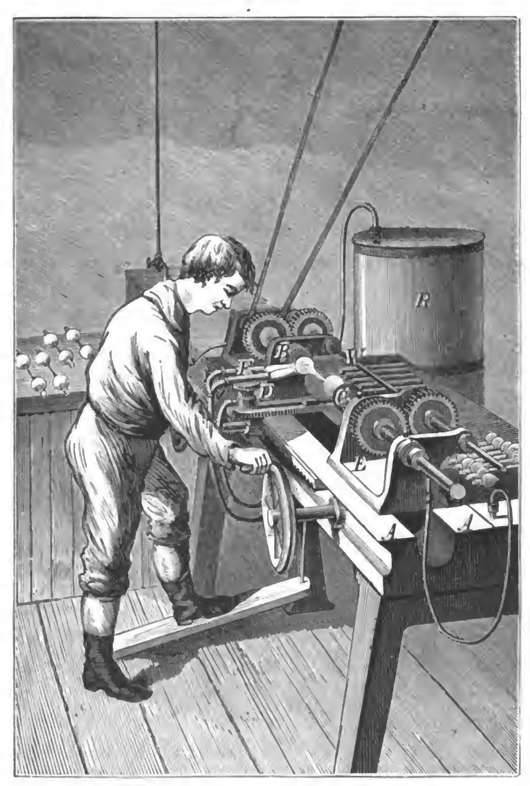
Der Kohlenbügel als solcher ist nunmehr vollendet; um ihn aber in die Glaskugel einschmelzen zu können, müssen seine Enden an Platindrähten befestigt werden. Es kann dies in der Weise geschehen, dass man die Platindrähte am Ende breitschlägt und dann durch ein Zieheisen zieht, wobei sich die breitgeschlagenen Stellen zu Röhrchen krümmen, in welche man die Bügelenden steckt und einklemmt. Man hat auch versucht, die Kohlenenden mit den Platindrähten durch Verkittung mit Theer und Lampenruss zu verbinden, doch schliesst hierbei der Kitt Gase und Wasserdampf ein und erschwert dadurch das Auspumpen der Lampe. Die Verbindung durch galvanische Niederschläge von Metallen, z. B. Kupfer, ist deshalb nicht anzurathen, weil der hohen Temperatur des Kohlenbügels wegen das Kupfer verflüchtigt wird und entweder einen Licht-

bogen bildet oder eine Lichterscheinung, ähnlich jener in Geissler'schen Röhren, veranlasst. Andere Verbindungsweisen sind bei der Beschreibung der einzelnen Lampen bereits angegeben worden. Am zweckmässigsten scheint es übrigens zu sein, die Kohlenenden mit den Platindrähten durch denselben Process mit einander zu verbinden, welcher beim Carbonisiren Verwendung findet, also durch Niederschlagen von Kohle auf elektrischem Wege.

Die Glasbläserarbeiten, soweit sie in Glühlampenfabriken überhaupt in Betracht kommen, lassen gewissermaassen drei Stadien unterscheiden, nämlich: die Anfertigung der Stiele oder Träger für den Kohlenbügel, da nur die wenigsten Fabriken die Platindrähte direct in die Glaskugel einschmelzen, die Herstellung der Glaskugel oder Glasbirne und die Vereinigung beider. Die Glasarbeiten können zweckmässig mit Benützung der von F. Wright und Mackie construirten Glasblasmaschine ausgeführt werden, zu deren Bedienung Knaben ausreichen. Diese, ihrem äusseren Ansehen nach ähnlich einer Drehbank, besteht aus einem horizontalen Bette A (Fig. 104), welches einen verschiebbaren Drehknopf D und einen horizontal verschiebbaren E trägt. Durch diese Drehknöpfe gehen hohle Wellen, die an den einander gegenüberstehenden Enden mit Klemmknöpfen BC ausgerüstet sind. Die beiden Wellen erhalten durch eine dritte Welle W ihren Antrieb, indem Zahnräder dieser Welle in die Zahnräder der erstgenannten Wellen entsprechend eingreifen. Damit beim Verstellen des Drehknopfes E die Drehung nicht aufgehalten wird, ist das entsprechende Hilfszahnrad

in einer Nuth auf der Welle *W* verschiebbar. Aus dem Reservoir *R* wird comprimirte Luft in die hohlen

Fig. 104.



Wellen geleitet und kommt durch diese in die Glasröhre. Wird letztere unter continuirlicher Drehung von der Stichflamme *F* erhitzt, so besorgt die comprimirte Luft das Aufblasen der Kugel. Die Gestaltung derselben hat man dadurch in der Hand, dass die Stichflamme auf ihrem Support nach allen Richtungen hin bewegt werden kann. Ein Knabe kann mit dieser Maschine 250 bis 300 Kugeln per Tag herstellen.

Beim Einsetzen der Kohlenbügel in die Glaskugel verfährt man in folgender Weise:

Die Platindrähte, welche den Kohlenfaden tragen, werden zunächst in einem Glasstöpsel eingeschmolzen (Fig. 105, 1), dann in die Lampenkugel eingesetzt (2) und mit dem Halse derselben verschmolzen (3). Zur Herstellung dieses Glaskörpers werden cylindrische Röhren (4) von 230 *mm* Länge und 20 *mm* Durchmesser in der Mitte zu einem dünnen Rohre ausgezogen und dann an den dicken Enden derselben Kugeln angeblasen (5). Die beiden Kugeln werden von einander durch Abbrechen der sie verbindenden Glasröhre getrennt. Nach dem Einsetzen des Kohlenbügels in die Glaskugeln hat die Lampe die in Fig. 105, 6 abgebildete Form.

Ist die Herstellung der Lampe soweit fortgeschritten, so kommt die Lampe in jenen Raum der Fabrik, in welchem die Quecksilberluftpumpen aufgestellt sind. Es ist bei Besprechung der Glühlampen wiederholt darauf hingewiesen worden, dass ein möglichst vollständiges Entfernen der Luft aus dem den Kohlenbügel umgebenden Glaskörper unerlässlich ist, wenn nicht der Kohlenbügel in kürzester Zeit zu Grunde

gehen soll. Um eine so hohe Verdünnung der Luft, ein sogenanntes Vacuum herzustellen, reichen die zu

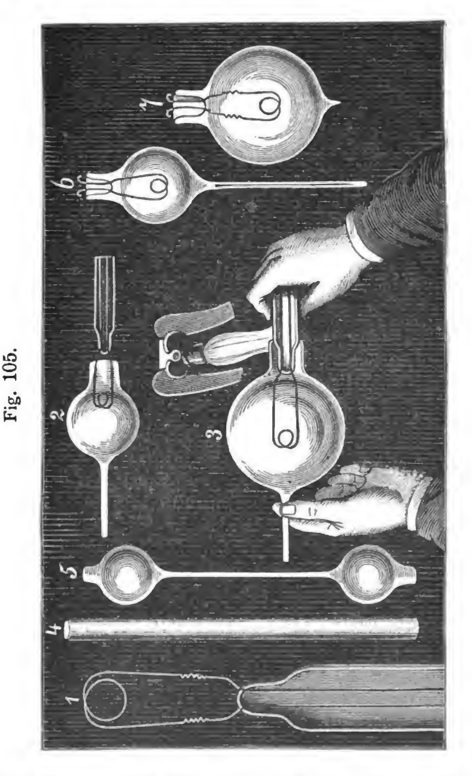


Fig. 105.

anderen Zwecken häufig angewandten Luftpumpen nicht aus. Diese gestatten selbst bei vorzüglicher Construc-

tion doch nur, eine Verdünnung der Luft bis zu einem Drucke von 2 oder 1·5 *mm* Quecksilbersäule zu erreichen; aus diesem Grunde musste man sich zur Anwendung der Quecksilberluftpumpen entschliessen. Man hat deren von zweierlei Construction; die eine beruht auf Anwendung der Barometerlehre, die andere auf der saugenden Wirkung eines durch eine Röhre herabfallenden Quecksilberstrahles. Erstere ist in der von Geissler (1855) erfundenen Construction vielfach in Anwendung, letzterer hat Sprengel (1865) eine brauchbare Form gegeben; die Geissler'sche Pumpe hat überdies später Töpler in der Weise umgeändert, dass die Hähne überflüssig wurden. Da aber die Quecksilberpumpen aller drei Formen nur für den Laboratoriumsgebrauch zu wissenschaftlichen Untersuchungen bestimmt waren, mussten sie, um ein fabriksmässiges Arbeiten zu ermöglichen, noch verschiedene Abänderungen erleiden.

Beginnen wir mit der Quecksilberpumpe von Sprengel, welche in zwei Modellen in den Fig. 106 und 107 abgebildet ist. Der mit Quecksilber gefüllte Trichter S (Fig. 106) ist durch ein Stück Kautschukschlauch mit einer Glasröhre F, welche starkwandig ist, aber eine geringe lichte Weite besitzt und mit ihrem unteren Ende in das Gefäss K taucht, verbunden; über den Kautschukschlauch ist ein Quetschhahn geschoben und unterhalb der Verbindungsstelle von Trichter und Röhre an letztere seitlich ein Rohr angeschmolzen. Oeffnet man den Quetschhahn, so fliesst das Quecksilber aus dem Trichter nicht in einem ununterbrochenen, die Röhre F ganz erfüllenden Strahle nach K

ab, sondern löst sich in einzelne Tropfen auf, welche durch Luftblasen, die durch das Seitenrohr eindringen, von einander getrennt sind. Jeder Tropfen bildet gewissermaassen eine Art Kolben, der die Luft durch sein Gewicht durch das Rohr *F* hinabpresst. Das in *F*

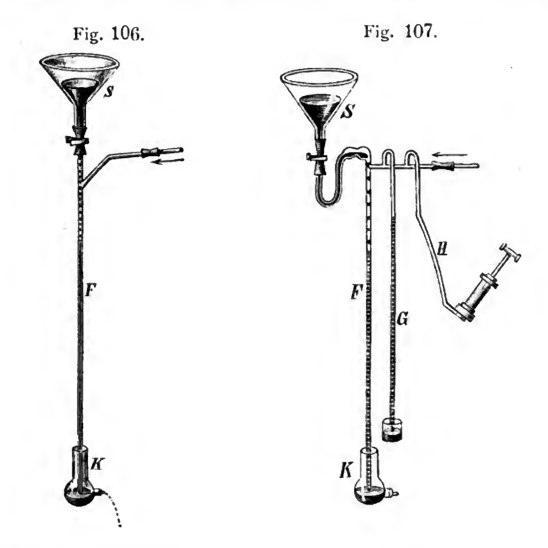


Fig. 106. Fig. 107.

fallende Quecksilber übt also eine Saugwirkung aus, und wenn daher das seitliche Rohr mit einem gegeschlossenen Gefässe, einem Recipienten, in Verbindung steht, so wird dieser nach und nach luftleer gemacht. In Fig. 107, welche ein etwas abgeändertes Modell darstellt, sind dieselben Theile mit demselben Buchstaben bezeichnet. Das seitlich in das Fallrohr *F*

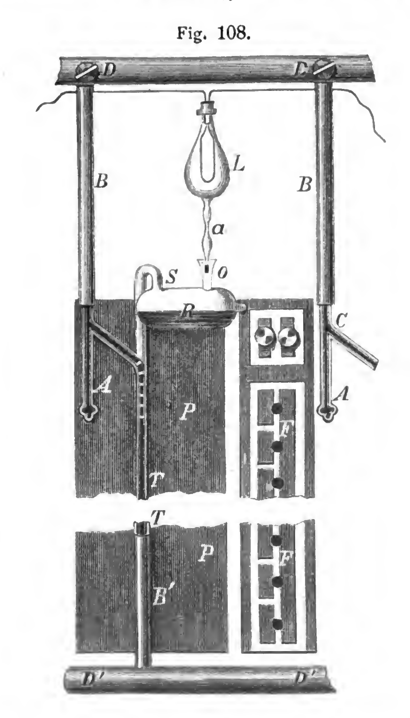
eingesetzte, zum Recipienten führende Rohr steht aber überdies noch mit der Röhre *G* in Verbindung, welche durch den Stand der darinnen befindlichen Quecksilbersäule den Verdünnungsgrad im Recipienten erkennen lässt, und ist durch die Röhre *H* mit einer gewöhnlichen Luftpumpe verbunden, welche dazu dient, um anfangs die Luft im Recipienten in rascherer Weise verdünnen zu können.

Sprengel'sche Luftpumpen stehen z. B. bei der Erzeugung von Edison-Lampen in der Fabrik zu Jvry in Verwendung. Die Anordnung ist derart getroffen, dass stets gleichzeitig 450 Lampen ausgepumpt werden können. Die Pumpen sind in einem grossen Saale der Reihe nach an verticalen Holzwänden befestigt, wie dies Fig. 108 für eine derselben zeigt. Oberhalb und unterhalb der Holzwände laufen horizontale eiserne Röhren *D D* und *D' D'*, welche das Quecksilber den Luftpumpen zuführen, beziehungsweise von ihnen ableiten. Diese beiden Röhren münden in je ein mit Quecksilber gefülltes Reservoir; das obere Reservoir steht mit dem unteren durch ein grosses, schief liegendes Rohr in Verbindung, in welchem eine Archimedes-Schraube durch einen Motor in Bewegung gesetzt wird. Die Schraube sorgt auf diese Art dafür, dass das Quecksilber aus dem unteren Reservoir continuirlich in das obere übergeführt wird.

Vom oberen Reservoir aus vertheilt sich das Quecksilber durch das horizontale Eisenrohr *D D* auf die damit verbundenen verticalen Kautschukrohre *B* der einzelnen Pumpen. Das Quecksilber fällt durch die Röhren *A B* hinab, fliesst durch die geneigte Röhre

bei C in das verticale Rohr T. Wo die schiefe Röhre in dieses einmündet, trifft das Quecksilber mit einer Luft-

Fig. 108.



säule zusammen und reisst in seinem Falle durch das beiläufig 80 *cm* lange Rohr TB' Luft in Blasenform mit. So wird der Raum des Rohres, welcher sich oberhalb der Einmündungsstelle der schiefen Röhre

befindet, nach und nach der ihn erfüllenden Luft beraubt oder ausgepumpt. Das Rohr *T* setzt sich nach oben in die umgebogene Röhre *S* fort, welche in das Reservoir *R* ausmündet. Dieses enthält wasserfreie Phosphorsäure, um Feuchtigkeit zu absorbiren und ist bei *O* mit einem Ansatze versehen, in welchem die Lampe *L* durch das zum Aussaugen der Luft bestimmte Glasröhrchen mittelst Kautschukpfropfens luftdicht befestigt wird. Es ist selbstverständlich, dass durch diese Verbindung der Lampe mit dem Fallrohre *T* auch aus der Lampe die Luft ausgepumpt werden muss. Der Kohlenbügel der Lampe ist mit einem Stöpselumschalter und einem Rheostaten *F* in den Stromkreis einer Elektricitätsquelle eingeschaltet.

Zu Beginn des Auspumpens sind sämmtliche Widerstände *F* eingeschaltet und geht daher ein verhältnissmässig schwacher Strom durch den Kohlenbügel. Je weiter aber die Verdünnung fortschreitet, destomehr Widerstände schaltet man aus und lässt schliesslich bei Ausschaltung sämmtlicher Widerstände den Strom in voller Stärke durchgehen, wenn die Verdünnung der Luft die gewünschte Höhe erreicht hat. Leuchtet dann die Lampe mit der geforderten Intensität, so unterbricht man das Auspumpen, indem man den Quecksilberzufluss durch Schliessen des Hahnes *D* absperrt.

Um die Lampe zu vollenden, hat man sie nun noch vollkommen zu verschliessen, was durch Abschmelzen des Röhrchens bei *a* mit Hilfe einer Stichflamme bewirkt wird. Die Lampe ist dann bis auf die

Montirung mit den nothwendigen Ansatztheilen zum Gebrauche fertig.

Die Sprengel'sche Luftpumpe ist auch noch in anderen Formen in den fabriksmässigen Betrieb eingeführt worden. So hat z. B. Gimingham, um die Leistungsfähigkeit der Pumpe zu steigern, das Rohr für den Quecksilberzufluss nicht direct mit der Fallröhre verbunden, sondern zunächst in eine Art Vertheilungskammer geführt; von dieser aus lässt er das Quecksilber dann nicht durch eine einzige Röhre, sondern durch fünf parallel mit einander verlaufende Röhren abfliessen. Wir wollen aber auf diese Abänderungen umsoweniger näher eingehen, als die nach Geissler-schem Muster verfertigten Pumpen für die in Rede stehenden Zwecke der eben beschriebenen ohnehin vorzuziehen sind.

Die Geissler'sche Quecksilber-Luftpumpe beruht, wie bereits erwähnt wurde, auf der Anwendung der Barometerleere oder des Toricelli'schen Vacuums. Sie besteht dem Principe nach aus zwei durch einen Kautschukschlauch mit einander verbundenen Gefässen, von welchen das eine mit dem auszupumpenden Gefässe in Verbindung steht. Man hebt das eine Gefäss so lange, bis das darin befindliche Quecksilber alle Luft aus dem zweiten verdrängt und es ganz ausgefüllt hat. Dann wird dieses zweite Gefäss, welches bisher mit der freien Luft in Verbindung stand, von dieser abgesperrt und das andere Gefäss gesenkt. Es fällt dann das Quecksilber im zweiten Gefässe so lange, bis der Höhenunterschied zwischen den Quecksilberoberflächen beider Gefässe gleich ist dem jeweiligen Barometerstande, also

beiläufig 760 *mm*. Auf diese Art ist also in dem unbewegt gebliebenen Gefässe ein leerer Raum, das Vacuum, entstanden, welches, mit dem auszupumpenden Gefässe in Verbindung gesetzt, aus diesem die Luft aussaugen muss. Die Luft wird also verdünnt, und diese Verdünnung kann, weil sich der eben beschriebene Vorgang beliebig oft herbeiführen lässt, auch ausserordentlich weit getrieben werden, d. h. man erhält ein sehr gutes Vacuum, wie ein solches mit der Sprengel-Pumpe nicht erhalten werden kann, da in dieser bei fortgeschrittener Luftverdünnung die Quecksilbertropfen nicht mehr imstande sind, die sehr verdünnte Luft mit sich fortzureissen.

Die Abänderung, welche Töpler an der Geissler'schen Pumpe gemacht hat, um die Hähne zu beseitigen, ist aus dem in Fig. 109 dargestellten Modelle ersichtlich. Seine Wirkungsweise ist folgende: Hebt man das mit Quecksilber gefüllte Gefäss *S*, so fliesst das Quecksilber durch den Kautschukschlauch *g* in das Barometerrohr *B* und erfüllt das Glasgefäss *A*, indem es die Luft durch das Rohr *F*, welches mit seinem Ende in Quecksilber taucht, austreibt. Unterhalb der Birne *A* mündet das zum Recipienten führende Rohr *HR* ein. Senkt man hierauf das Gefäss *S* so weit, dass der Abstand seiner Quecksilberoberfläche von der genannten Abzweigungsstelle beiläufig dem jeweiligen Barometerstande gleichkommt, so müsste in *A* ein Vacuum entstehen, wenn dieses Gefäss vollkommen abgeschlossen wäre; da es aber durch das Rohr *HR* mit dem Recipienten in Verbindung steht, so wird natürlich nur eine theilweise

Luftverdünnung eintreten, die aber durch Wiederholung des Vorganges immer weiter getrieben werden kann. Die Hähne sind bei dieser Pumpe darum überflüssig,

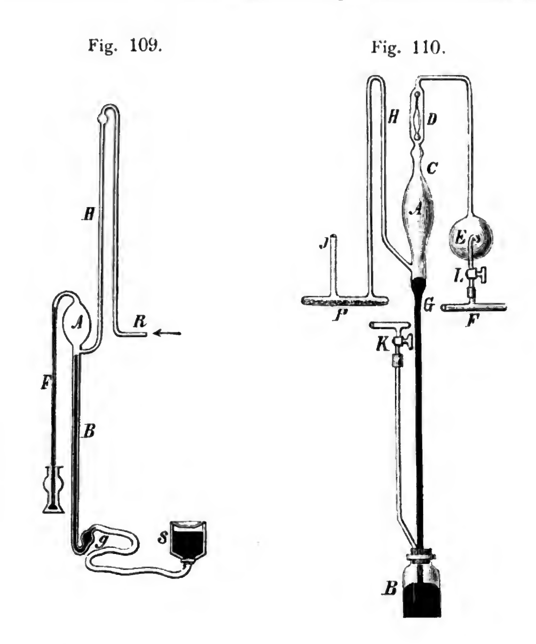


Fig. 109. Fig. 110.

weil das Quecksilber selbst die Verbindungen des Gefässes A mit der äusseren Luft einerseits und mit dem Recipienten anderseits rechtzeitig herstellt, beziehungsweise unterbricht. Dass bei dieser Anordnung die Röhren F und HR etwas länger sein müssen, als dem

Barometerstande entspricht, ergibt sich wohl aus der aufmerksamen Betrachtung der Figur von selbst.

Eine jener Formen, welche die Geissler'sche, beziehungsweise Geissler-Töpler'sche Pumpe in der Praxis erhalten hat, ist z. B. die ihr von Swinburne gegebene und in Fig. 110 abgebildete.

Die Pumpe besteht aus einem Gefässe A, welches durch ein langes Rohr G mit der Flasche B in Verbindung steht; das Rohr geht luftdicht durch den Hals der Flasche und reicht bis auf deren Boden. Wird daher durch K comprimirte Luft zugeführt, so muss das Quecksilber durch G nach A geradeso aufsteigen, als wenn das Gefäss B gehoben würde. Die oben von A ausgehende Röhre ist kugelförmig erweitert und bildet darüber die Ventilkammer D, welche durch ein Rohr mit der Kugel E verbunden ist, die ihrerseits wieder unter Vermittlung des Hahnes L mit der Vacuumröhre F in Verbindung gesetzt werden kann. Die bei G seitlich angesetzte Röhre H führt zu dem mit Phosphorsäure gefüllten Gefässe P und ist durch J mit den auszupumpenden Lampen verbunden; jede dieser Pumpen arbeitet gleichzeitig auf 10 bis 12 Lampen.

Sind die Lampen angeschmolzen, so wird zunächst durch eine mechanische Pumpe die Luft aus den mit F verbundenen Quecksilber-Luftpumpen und den dazu gehörigen Lampen bei offenem Hahne L durch das feine gebogene Rohr in E ausgesaugt, bis der innere Luftdruck etwa auf 10 bis 12 *mm* gesunken ist und das Quecksilber in G die aus der Figur ersichtliche Höhe erreicht hat. Hierauf wird das Auspumpen mit Hilfe

der Quecksilber-Luftpumpen fortgesetzt, die ganz in der an Fig. 109 erläuterten Weise arbeiten, nur mit dem Unterschiede, dass an Stelle des Hebens und Senkens eines Gefässes der Druck der comprimirten Luft wirkt oder aufgehoben wird. Die Anschwellung *C* und die darauf folgende Verengung des Verbindungsstückes zwischen *A* und der Ventilkammer *D* (Fig. 110) hat den Zweck, ein zu heftiges Hinaufschiessen des Quecksilbers zu verhindern und dadurch einen Bruch zu verhüten.

Die Bewegung des Quecksilbers in der Pumpe oder des einen Gefässes mit dem Quecksilber kann natürlich auch in irgend einer anderen entsprechenden Weise bewerkstelligt werden. So hat z. B. Smith*) vorgeschlagen, das eine Gefäss durch Schnurlauf und Rolle mit einem hydraulischen Motor einfachster Form zu verbinden und durch diesen das Heben und Senken des Gefässes ausführen zu lassen.

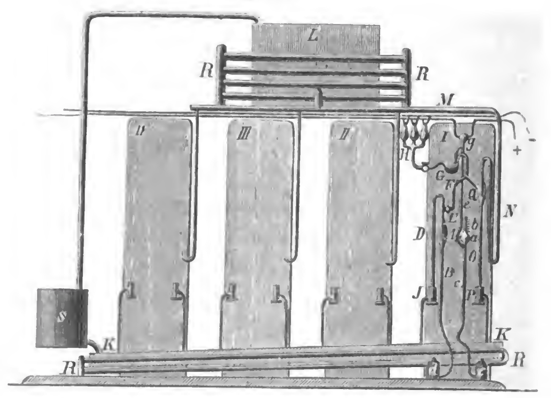
In Fig. 111 ist eine Verbindung der Pumpen beider Systeme (Sprengel und Geissler) dargestellt, wie sie Edison zur Anwendung brachte. Auf dem verticalen Holzbrette *I* stellt das linksseitige Röhren- und Gefäss-System die Geissler'sche, das rechtsseitige die Sprengel'sche Luftpumpe und das mittlere eine Messvorrichtung dar. Betrachten wir zunächst die Geissler'sche Luftpumpe. Die Hauptbestandtheile derselben sind das Glasgefäss *A*, in welchem das Vacuum erzeugt wird, die unten an dieses angeschmolzene Glasröhre *B* mit ihrer Fortsetzung in Form eines Kaut-

*) Phil. Mag., Vol. XXV (1888), p. 313.

schukrohres, welches in die Flasche *d* mündet, die Ueberfallsröhre *D*, angeschmolzen am oberen Theile des Gefässes *A*, der Glas- oder Stahlhahn *E*, die Verbindungsröhre *F* mit dem Trockengefässe *G*, und endlich die von hier ausgehende, mit einem Hahne versehene Röhre, an deren gabelförmige Ausläufer die auszupumpenden Glühlampen *H* angeschmolzen sind. Der



Fig. 111.



Hahn *E* dient dazu, die Verbindung des Gefässes *A* mit den zu evacuirenden Glühlampen herzustellen oder zu unterbrechen.

Die Sprengel'sche Pumpe wirkt aber in folgender Weise: Aus dem Reservoir *L* fliesst das Quecksilber durch die Röhre *M* und das zweimal gebogene Rohr *N* in die Fallröhre *O* ab, gelangt dann in das Gefäss *P* und von hier in die Sammelröhre *K*. Hierbei

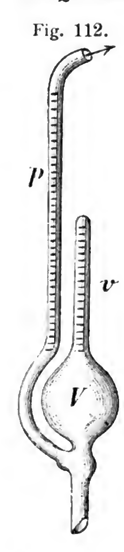
reisst der Quecksilberstrahl die Luft aus dem Gefässe *Q* mit und saugt vermöge der Verbindung *GH* dieses Gefässes mit den Lampen auch aus den letzteren die Luft aus.

Da es sehr wichtig ist, die Lampen bei einem bestimmten Verdünnungsgrade der Luft abzuschmelzen, so hat man auf verschiedene Mittel gedacht, um das Fortschreiten der Verdünnung messend zu verfolgen. Am besten erreicht man diesen Zweck mit der von Mac Leod angegebenen Vorrichtung, welche durch das Röhren- und Gefäss-System in der Mitte des Brettes *I* dargestellt ist.

Dasselbe besteht aus einer Glaskugel *a*, welche oben ein an der Spitze zugeschmolzenes Glasrohr *b*, an der unteren Seite das Rohr *c* trägt, welches in eine mit der Flasche *c* verbundene Kautschukröhre ausgeht. Gleich unterhalb der Kugel *a* zweigt sich von der Röhre *c* eine nach aufwärts gehende, durch das Trockengefäss mit den Pumpen und Lampen in Verbindung stehende Röhre *e* ab. Die Röhre *c*, von der Abzweigungsstelle der Röhre *e* nach unten zu gemessen, hat gleichfalls eine Länge nahezu entsprechend dem mittleren Barometerstande. Der obere eigentlich zum Messen dienende Theil des ganzen Apparates ist in Fig. 112 in grösserem Maassstabe gezeichnet. Wird nun die Luft in den Pumpen und den mit diesen in Verbindung stehenden Räumen verdünnt, so presst der auf den Quecksilberspiegel in der Flasche *c* wirkende äussere Luftdruck das Quecksilber in die Röhre *c* hinauf, und durch die Höhe dieser Quecksilbersäule kann der jeweilig in den Lampen herrschende Luftdruck gemessen werden. Ist

die Luft aus den Lampen nahezu, etwa bis zu einem Drucke von 1 *mm* Quecksilbersäule, ausgepumpt, so steht das Quecksilber in der Röhre *c* nahe der Abzweigungsstelle des Rohres *e*. Eine weitere Abnahme des Druckes in der angegebenen Weise zu messen, wird nun unmöglich, einmal weil die Oberfläche der Quecksilbersäule keine ebene, sondern eine gekrümmte ist. und ferner, weil man Bruchtheile von Millimeter auf diese Art nicht bestimmen kann. Um unter diesen Umständen zu messen, hebt man die Flasche *c*, wodurch man das Quecksilber veranlasst, in die Kugel *a* einerseits und das Rohr *e* anderseits zu steigen. (In der Fig. 112 ist die Kugel mit *V* und das Rohr mit *p* bezeichnet.) Sobald aber das Quecksilber die Abzweigungsstelle der oberen Röhre (unterhalb der Kugel) passirt hat, sperrt es die Verbindung zwischen der Luft in der Glaskugel *a* und den Pumpen ab. Das Quecksilber presst daher die Luft, welche noch in der Glaskugel und dem darauf geschmolzenen Glasröhrchen war, in ein sehr kleines Volumen des letzteren zusammen, während die Luft aus der Röhre *e* in die übrigen Theile der Pumpen zurückweichen kann; hier findet sie einen verhältnissmässig so grossen Raum, dass die hierdurch bewirkte Verdichtung der Luft absolut unmessbar ist. Anders verhält es sich aber mit der Kugel *a*; hier wird aus dem verhältnissmässig grossen Raum der Kugel

Fig. 112.



die Luft in den sehr kleinen Raum eines Theiles der Röhre *b* zusammengedrückt, folglich muss der Druck in diesem Raume bedeutend zunehmen. Dies zeigt sich auch in der That dadurch, dass das Quecksilber in der Röhre *e* bedeutend höher steigt als in dem Röhrchen *b*. Ist nun das Volumen der Kugel sammt dem des Röhrchens bekannt, und ebenso das Volumen, auf welches die Luft im Röhrchen zusammengedrückt wurde, so kann man durch Messung der Quecksilbersäule in der Röhre *e* (vom Niveau des Quecksilbers in dem Röhrchen *b* an gerechnet) den Luftdruck in den Pumpen erfahren, denn man hat, wenn V das Volumen der Kugel, v das des Röhrchens, x der unbekannte Druck und p die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre *e* bedeutet, als Bedingung für das Gleichgewicht die Gleichung $(V+v)\,x = v\,(p+x)$ und daraus

$$x = \frac{v}{V}\,p.$$

Das Verhältniss $\frac{v}{V}$ ist natürlich im Vorhinein bestimmt worden, so dass man, um den jeweiligen Luftdruck in den Pumpen zu erfahren, nur die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre *e* zu messen braucht. Da $\frac{v}{V}$ ein echter Bruch ist, z. B. $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ u. s. w., so ergibt sich, dass die gemessene Quecksilbersäule das 10fache, 100fache u. s. w. des wirklichen Druckes anzeigt, dass also auf diese Art Bruchtheile eines Millimeter leicht und genau gemessen werden können.

Mit dem eben erklärten Quecksilbermanometer ist noch eine weitere Einrichtung verbunden, um dem

Arbeiter den Zeitpunkt anzuzeigen, in welchem die Verdünnung der Luft in den Lampen hinreichend weit fortgeschritten ist. Das Manometer endet nämlich oben in eine kleine Glaskugel *g*, in welche zwei einander gegenüberstehende Platindrähte eingeschmolzen sind. Der Zwischenraum zwischen beiden in der Glaskugel *g* befindlichen Enden der Platindrähte bildet eine Unterbrechungsstelle in dem Stromkreise (+ —) einer Elektricitätsquelle; in denselben Stromkreis sind auch die zu evacuirenden Lampen geschaltet. Die Länge der Röhre *e* ist nun so gewählt, dass das Quecksilber eben bei jener Verdünnung der Luft in den Lampen die Platindrähte erreicht, welche man zu erhalten wünscht. Dann stellt das Quecksilber die Verbindung zwischen beiden Drahtenden her, schliesst den Stromkreis und bringt die Kohlenbügel in den Lampen zum Glühen. Der Arbeiter ersieht daraus, wann er die Lampen durch Abschmelzen der Röhrchen in der Ansatzgabel von der Pumpe abnehmen kann.

Die vorhin erwähnte mechanische Pumpe kann für den speciellen Zweck die denkbar einfachste Construction besitzen, wie dies die in Fig. 113 dargestellte, eigens hierfür angefertigte Pumpe zeigt. Sie ist eine einfach wirkende Pumpe; die obere Kappe dient der Kolbenstange nur als Führung und besitzt keine Stopfbüchse. Ueber dem Kolben befindet sich eine Quantität Oel, welche den dichten Abschluss sichert und gleichzeitig für eine ausgiebige Schmierung sorgt. Auf dem Boden befindet sich ein Ventil aus Wachstaffet. Das gebogene Rohr dient besonders dazu, etwa in den unteren Theil des Pumpenstiefels und besonders auch

in die Rohrleitung gelangtes Oel wieder auf den Kolben zurückzuführen.

Da die vollkommene Reinheit des Quecksilbers eine Hauptbedingung für ein erfolgreiches Arbeiten mit Quecksilber-Luftpumpen ist, so kommt man häufig in die Lage, Quecksilber reinigen zu müssen. Vollkommen

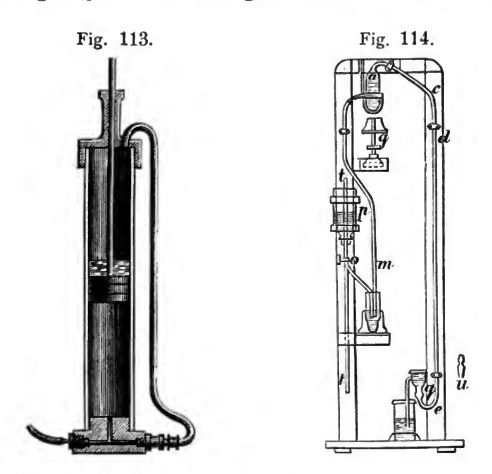


Fig. 113. Fig. 114.

gelingt dies jedoch weder durch Filtriren durch ein fein durchstochenes Papierfilter, noch beim Durchpressen durch Leder und auch sogar durch Waschen mit Säuren nicht. Wirklich rein erhält man es nur durch Destillation. Man füllt zu diesem Behufe das Quecksilber in eiserne Retorten, und bringt, um das Spritzen und Stossen zu vermeiden, Eisendrehspäne dazu und verbindet die Retorte mit einer Conden-

sationsvorrichtung. Zweckmässiger ist jedoch, die Destillation im luftverdünnten Raume vorzunehmen.

Ein sehr einfacher, zweckmässiger Apparat ist von Nebel*) construirt worden. Er besteht im Wesentlichen aus zwei Barometern, die durch ein retortenähnliches Gefäss *a* (Fig. 114) mit einander verbunden sind, und zwar mündet das erste Barometer *m* seitlich in den weiten Theil der Retorte *a*, während das zweite *cde* die Fortsetzung des Retortenrohres bildet. Der ganze Apparat zeichnet sich durch die Abwesenheit von Schliffen, Hähnen, Kautschukröhren und Fett aus. Die Beschickung wird bewerkstelligt, indem man das Ende des zweiten Barometers durch Einsetzen eines eingeschliffenen Glasrohres *u* an der Stelle *g* durch einen Kautschukschlauch mit einer Luftpumpe in Verbindung setzt und durch Auspumpen das erste Barometer herstellt, wobei sich infolge entsprechend bemessener Dimensionen die Retorte *a* ungefähr bis zur Hälfte füllt. Durch Erwärmen derselben mit dem Gasbrenner *g* beginnt nach einiger Zeit das Quecksilber in das zweite Barometer *de* hinüber zu destilliren, welches zugleich als Sprengel'sche Pumpe wirkt, so dass stets ein gutes Vacuum bleibt. Der Quecksilberstand im ersten Barometer wird selbstthätig von einem Gefässe *p* aus unverändert erhalten, so dass man nur nöthig hat, alle zwei bis drei Tage in *p* Quecksilber nachzufüllen, während der Betrieb ausser dem Anzünden

*) Repert. der Phys., Bd. XXIII (1887), S. 236. Vergl. Elektrotechnische Zeitschr., Bd. VIII (1887), S. 298. — Centralblatt f. Elektrotechnik, Bd. IX (1887), S. 334. Ferner »The Electrician«, XVIII (1887), p. 368.

und Auslöschen der Gasflamme keiner weiteren Wartung bedarf.

In einer Stunde erhält man 500—600 *g* Quecksilber. Um gleich bei der ersten Destillation reines Quecksilber zu erhalten, ist es zweckmässig, das zu reinigende Quecksilber vorher in Schwefelsäure und hierauf in Wasser zu waschen und schliesslich mit Fliesspapier sorgfältig zu trocknen.

Sind nun alle vorstehend geschilderten Operationen ausgeführt, ist also der vollendete Kohlenbügel in seine luftleere Glaskugel oder Glasbirne hermetisch eingeschmolzen, so kommt die Lampe in die Montirwerkstätte, wo sie mit jenen Anschlusstheilen versehen wird, die sie zum Aufsetzen auf die Beleuchtungskörper, wie Kandelaber, Luster, Wandarme u. s. w. oder allgemein zum Anschlusse an die Stromleitungen geeignet macht. Von einer diesbezüglichen Schilderung an dieser Stelle kann jedoch abgesehen werden, da diese Lampenhalter, Hähne u. dgl. schon bei den einzelnen Lampen beschrieben wurden.

2. Kohlen für Bogenlicht.

Wie man aus dem Abschnitte über Bogenlampen ersehen kann, ist an Lampen der mannigfachsten Construction durchaus kein Mangel mehr. Sie alle können aber, selbst die zweckmässigste Construction vorausgesetzt, nur dann wirklich zufriedenstellende Dienste leisten, wenn man sich solcher Kohlenstäbe bedient, die gleichfalls allen Anforderungen entsprechen. Wie früher mitgetheilt wurde, hat Davy, als er zum

erstenmale den Voltabogen erzeugte, Stäbe aus Holzkohle verwendet. Es wurde auch bemerkt, dass sich dieses Material zum Zwecke der Lichterzeugung durch Elektricität gleich anfangs als unbrauchbar erwies. Foucault ersetzte es durch Retortenkohle. Aber auch diese gab kein zufriedenstellendes Resultat. Die Erzeugung der letzteren, an den Innenwänden der Gasretorten, in beständiger inniger Berührung mit Mineralkohle, bringt es mit sich, dass ihre Masse sich nicht gleichmässig aus Kohlenstoff zusammensetzt, sondern mit mineralischen Bestandtheilen mehr oder weniger, häufig unregelmässig vermischt ist. Die aus solcher Kohle geschnittenen Stäbe können daher kein ruhiges, gleichmässiges Licht geben, da bei ihrer Anwendung Kohlentheilchen und mineralische Bestandtheile in mehr oder weniger unregelmässigen Zeiträumen zum Glühen kommen und hierbei ganz ungleichförmige Lichtintensitäten erzeugen. Die mineralischen Bestandtheile wirken auch dadurch schädlich, dass sie zum Theile schmelzen, zum Theile verdampfen, das Licht verschieden färben, zur Zersplitterung der Kohle, zum »Spritzen« derselben, Veranlassung geben. Man sah sich daher gezwungen, die Lampenkohlen eigens für diesen Zweck darzustellen. Ohne die Namen jener Männer, welche sich um die Darstellung brauchbarer Kohlenstäbe Verdienste erworben haben, alle aufzuzählen — die Reihe ist eine stattliche*) — mögen hier nur einige genannt werden.

*) Z. B. Staite, le Molt, Watson & Slater, Lacassagne & Thiers, Curmer, Peyret, Archereau und H. Fontaine: Die elektrische Beleuchtung. Deutsch von F. Ross, II. Aufl. (1880), S. 71—89. — Ferner: Elektrotechn. Zeitschr., IV (1883), S. 186;

Jacquelain versuchte die künstliche Darstellung der Retortenkohle unter Vermeidung jener Umstände, welche deren Verunreinigung mit mineralischen Bestandtheilen bewirken. Er nahm Theer, welcher als Destillationsproduct frei von allen nicht flüchtigen Bestandtheilen ist, und zersetzte diesen an stark erhitzten Flächen. Die auf solche Weise erzeugte Retortenkohle wurde in Stäbe zersägt und war hart und dicht wie die Retortenkohle. Sie lieferte ein vollkommen ruhiges Licht, dessen Intensität um 25% höher war als jene, welche man, gleiche Stromintensität vorausgesetzt, mit gewöhnlichen Retortenkohlen erzielen konnte. Leider gestaltet sich die Herstellung derartiger Kohlenstäbe zu kostspielig; es erfordert viel Arbeit, das sehr harte Material in Stäbe zu zersägen, und überdies gehen eine Menge Abfälle verloren.

In neuerer Zeit hat Jacquelain (in Wiedemann's Beiblättern) folgendes Verfahren zur Darstellung reiner Kohlen angegeben: Prismatische Gaskohlenstäbe werden erst bei Weissgluth mindestens 30 Stunden einem Chlorstrom, dann zur Ausfüllung ihrer Poren weissglühend in einem Cylinder von unschmelzbarem Thon langsam den Dämpfen von schwerem Steinkohlentheeröl ausgesetzt. Auch werden die Kohlen mit geschmolzenem Natron und dann mit destillirtem Wasser behandelt, um Kieselsäure und Thonerde zu entfernen; darauf mit

X (1889), S. 435. — Centralblatt f. El., Bd. X (1888), S. 9, 607. — La lumière él., Tom. IX (1883), p. 190; Tom. XII (1884), p. 113. — L'électricité, Vol. XII (1888), p. 23, 67, 136. — F. Uppenborn: Kalender für Elektrotechniker, Jahrg. VII (1890), S. 95. — Zeitschrift f. angewandte El., Bd. III, S. 456.

Salzsäure und destillirtem Wasser zur Entfernung des Eisens und der alkalischen Erden. Endlich kann man die Kohlen in einem mit 1 Volumen Fluorwasserstoffsäure und 2 Volumen Wasser gefüllten Bleitrog 24 bis 28 Stunden bei 15 bis 25 Grad C. einsenken, waschen und während 3 bis 6 Stunden carbonisiren. Bei gleichen Verhältnissen betrugen bei Erzeugung des Lichtbogens die Verluste *v* der Kohlen in Gramm in 24 Stunden und die Helligkeiten *h*, verglichen mit denen einer Carcellampe:

	v	*h*
Graphit, Alibert	245·0	55·14
Graphit mit Flusssäure gereinigt .	232·3	115·62
Gaskohle.	183·4	71·90
Gaskohle mit Natron gereinigt . .	273·7	69·44
Gaskohle mit Flusssäure gereinigt.	203·0	85·75

Die gereinigten Kohlen geben ein constantes Licht, die nicht gereinigten ein unstätes.

Grosse Verdienste um die Herstellung der Lichtkohlen hat sich Carré erworben. Nach langwierigen und eingehenden Versuchen kam er endlich zu einem Verfahren, welches er sich im Jahre 1876 patentiren liess. Er empfiehlt hierin ein Gemenge von gepulvertem Coaks, calcinirtem Russ und einem eigenen Syrup, der aus 30 Theilen Rohrzucker und 12 Theilen Gummi bereitet ist. Von diesem Syrup werden 7 bis 8 Theile mit 5 Theilen Russ und 15 Theilen Coaks vermischt. Der hierzu verwendete Coaks muss aus dem besten Materiale erzeugt sein, fein gemahlen und durch Wasser oder heisse Säuren gewaschen werden. Das ganze Gemenge wird mit etwas Wasser zu einem

Teige verarbeitet, dieser comprimirt und durch eine Presse in die Form von Stäben gebracht. Die so erhaltenen Stäbe kommen dann in Tiegel und werden längere Zeit einer hohen Temperatur ausgesetzt. Das einmalige Glühen genügt jedoch nicht zur Herstellung consistenter Kohlen; sie sind nach dieser Operation noch zu porös. Um die Poren auszufüllen, werden die Stäbe in einen sehr concentrirten Syrup von Rohrzucker oder Caramelzucker gebracht und 2 bis 3 Stunden gekocht. Während dieser Periode kühlt man die Kohlenstäbe einigemale stark ab, damit der Luftdruck den Syrup in alle Poren hineinpressen kann. Die Kohlen werden dann zur Entfernung des an ihrer Oberfläche noch haftenden Syrups mit Wasser abgespült und einem abermaligen Brennen unterworfen. Diese Operationen müssen so oft wiederholt werden, bis die Kohlen eine hinreichende Dichte und genügende Härte erreicht haben.

Gauduin hat gleich Carré zahlreiche Untersuchungen angestellt, bevor er dazu gelangte, gute Kohlenstäbe zu erzeugen. Da ihm die Kohle, welche bei den gewöhnlichen Verfahren in den Retorten erhalten wird, zu wenig rein erschien, entschloss er sich, die Kohle selbst zu bereiten und hierbei Alles zu vermeiden, was der Reinheit der Kohlen Abbruch thun könnte. Es wurden deshalb zur Destillation keine Kohlen verwendet, sondern Pech, Theer, Harz, künstliche und natürliche Mineralöle etc. Es bleibt dann eine mehr oder weniger feste Kohle in den Destillirgefässen zurück, die fein gepulvert und dann mit Theer gemengt wird. Aus der so erhaltenen, teigartigen Masse

werden die Stäbe durch eine hydraulische Presse erzeugt.

Fontaine hat über das Verhalten der Kohlen von Gauduin sehr eingehende und ausgedehnte Studien und Versuche durchgeführt, sie mit den Kohlen von Archereau und Carré verglichen und ist zu dem Resultate gekommen, dass die Kohlen von Gauduin den beiden letztgenannten überlegen sind. Er erhielt mit Retortenkohle eine Lichtstärke von 103, mit Kohlen von Archereau und Carré von 120—180 und mit Gauduin'schen Kohlen eine Lichtstärke von 200 bis 210 Carcelbrennern. Reducirt auf den gleichen Querschnitt von 0·0001 Quadratmeter, war die Abnützung der verschiedenen Kohlenstäbe:

für die Kohlen von Carré . . . . 44 *mm*
» » Retortenkohle . . . . 49 »
» » Kohlen von Archereau . . . . 53 »
» » » » Gauduin (Holzkohle) 61 »
» » » » » Nr. 1 . . 78 »

Im Verhältnisse zur Lichtstärke war diese Abnützung

per 100 Brenner

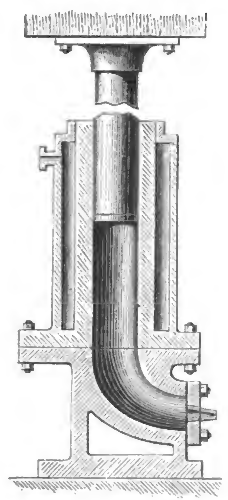
für die Kohlen von Gauduin (Holzkohle) 32 *mm*
» » » » Archereau . . . . 39 »
» » » » Carré . . . . 40 »
» » » » Gauduin Nr. 1 . . 40 »
» » Retortenkohle . . . . 50 »

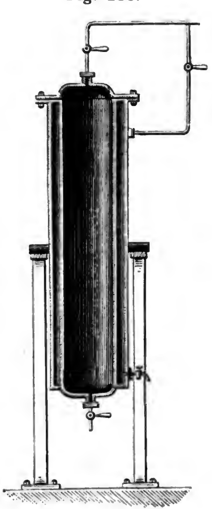
Auch die Kohlen von Napoli haben sich durch ihre Güte einen Ruf verschafft. Napoli benützt zur Fabrication seiner Kohlenstäbe gleichfalls eigens zu diesem Zwecke dargestellte Retortenkohle, indem er

Goudron der trockenen Destillation unterwirft. Die Kohle wird gemahlen, auf Schüttelsieben gesiebt und kommt dann in ein Gefäss, in welchem sich ein Paar Mühlsteine bewegen. Durch Beifügung einer bestimmten Quantität Goudron und die Bewegung der



Fig. 115. Fig. 116.





Mühlsteine entsteht ein gleichmässiger Brei, der in die Presse gebracht wird. Diese ist in Fig. 115 im Längsschnitte dargestellt. Der Presscylinder besteht aus zwei mit einander verschraubten Gusstheilen, deren unterer gekrümmt ist und drei Mundstücke trägt. Die Krümmung des Presscylinders hat sich als nothwendig herausgestellt, da wegen der Zähigkeit der Masse der Druck

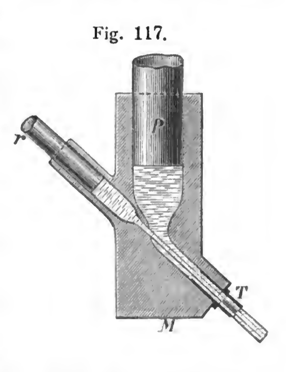
sich nicht gleichmässig fortpflanzt, und daher auch kein homogenes Product erhalten werden konnte. Den Presscylinder umschliesst ein Dampfrohr, um die Masse während des Pressens geschmeidig zu erhalten, und aus demselben Grunde legt man auf die Mundstücke glühende Eisenblöcke. Die Pressung selbst wird durch hydraulischen Druck bewerkstelligt.

Die auf diese Weise erzeugten Kohlenstäbe werden dann nach und nach bis zur Rothgluth erhitzt, um den noch enthaltenen Goudron zu zersetzen. Die Temperatur muss langsam erhöht werden, damit die Zersetzung allmählich erfolgt und die Gase Zeit finden, zu entweichen. Die Kohlen ziehen sich hierbei beträchtlich zusammen. Nachdem man sie langsam erkalten gelassen, erhitzt man sie abermals, aber jetzt bis zur hellen Rothgluth. Nachdem sie wieder abgekühlt sind, haben sie eine stahlgraue Färbung und hinreichende Härte und Festigkeit. Die Lampen verbrauchen von solchen Stäben stündlich 75 *mm*, während sie 250 *mm* Carré'scher Kohlen bedürfen.

Wünscht man Kohlen von noch grösserer Dichte herzustellen, so muss man sie nochmals tränken; dies kann aber nicht durch blosses Eintauchen der Kohlen geschehen, da hierbei wegen der schon ziemlich bedeutenden Dichte derselben die Flüssigkeit nicht mehr in die Poren eindringen würde. Sie werden daher in einen Cylinder gegeben (Fig. 116), der von einem Dampfstrom behufs Erwärmung umspült ist, dann die Luft aus dem Cylinder und den darin befindlichen Kohlen evacuirt, worauf man durch einen am Boden des Cylinders angebrachten Hahn die Flüssigkeit hineintreten lässt. Dann schliesst man diesen Hahn, öffnet den oben

angebrachten Hahn, der die Verbindung des Cylinders mit dem Dampfkessel herstellt, und lässt durch den Dampfdruck die Flüssigkeit in die Poren der Kohlen hineinpressen. Hierauf wird die Flüssigkeit abgelassen und ein Dampfstrom durch den Cylinder gesandt, der die Kohlen von der oberflächlich anhaftenden Flüssigkeit befreit und zugleich die leichter flüchtigen Kohlenwasserstoffe mitführt. Den Schluss des ganzen Verfahrens bildet ein abermaliges Ausglühen der Kohlenstäbe.

Fig. 117.



In Döbling (bei Wien) erzeugt Hardtmuth Lampenkohlen verschiedener Dimensionen und speciell auch Dochtkohlen, d. h. Kohlen, die im Innern aus weicherer Kohle gebildet sind, als die diese Art Docht umschliessende Hauptmasse der Kohlenstäbe. Die tägliche Production soll beiläufig 3500 *m* betragen. Es werden zunächst aus der plastischen Kohlenmasse hohle Kohlenstäbe gepresst, diese getrocknet und gebrannt, dann mit Kohlenwasserstoffen getränkt und abermals gebrannt. Hierauf erfolgt erst das Einpressen der den Docht bildenden Kohlenmasse.

Mignon und Rouart liessen sich den in Fig. 117 abgebildeten Apparat zur Anfertigung von Dochtkohle patentiren, mit dessen Hilfe sie sowohl die Hülle als auch den Kern oder Docht der Kohlen gleichzeitig

aus einer pastosen Masse anfertigen, so dass diese Kohlen als vollendete Dochtkohlen den Apparat verlassen. In den beiden Bohrungen der Form *M* arbeiten zwei Kolben *P* und *r*, durch deren Verschieben in leicht ersichtlicher Weise sowohl die Kernmasse als auch die Umhüllungsmasse nach dem Mundstücke *T* zu gepresst werden, um daselbst vereinigt auszutreten.

Sehr beliebt und daher auch häufig angewandt sind gegenwärtig die Kohlen der Gebrüder Siemens & Co. in Charlottenburg; über die Art ihrer Erzeugung ist jedoch nichts bekannt geworden.

Der Durchmesser der Kohlen für Ströme von gegebener Intensität kann allerdings innerhalb ziemlich weiter Grenzen ein verschiedener sein, jedoch ist es in der Praxis vorzuziehen, sich annähernd an nachstehend verzeichnete Angaben (aus »Revue scientifique«) zu halten:

Stromstärke in *A*	Kohlendurchmesser in *mm*	Stromstärke in *A*	Kohlendurchmesser in *mm*
2— 3	2	15— 24	13
3— 5	4	16— 25	14
4— 6	5	25— 30	15
7—10	7	30— 45	17
10—11	9	35— 60	18
11—15	10	40— 80	20
12—16	11	50—120	25
13—20	12	80—180	30

Für sehr grosse Lichtbogen ist es besser, Kohlenbündel aus 4 *mm* dicken Stäben oder cannelirte Stifte zu verwenden.

Für das Elektrodenmaterial im Allgemeinen hat man hohe Verflüchtigungstemperatur, grosses Ausstrahlungs-

vermögen und geringe Wärmeleitungsfähigkeit zu fordern, wenn man mit möglichst geringem Arbeitsaufwande möglichst viel Licht erzeugen will. Da diesen Anforderungen die Kohle am besten entspricht, so ist auch die Kohle das geeignetste Material. Ihre Verflüchtigungstemperatur ist, unbeschadet der verschiedenen Modificationen, in welchen sie auftritt, doch wohl als unveränderliche Materialconstante anzusehen. Dagegen können Beimengungen von leicht flüchtigen Stoffen, namentlich Alkalien und alkalische Erden, ausser der Regelmässigkeit des Brennens auch den Lichteffect beeinträchtigen. Tränkt man die Kohlen absichtlich mit Kochsalz, Pottasche oder einem ähnlichen Salze, so sinkt, nach Feussner, die bei gleicher Stromstärke ausgesandte Lichtmenge dadurch bedeutend unter die Hälfte herab. Das Ausstrahlungsvermögen ist ebenfalls als Materialconstante anzusehen, doch ist es nicht unmöglich, dass sich dasselbe durch Beimengungen steigern liesse. Natürlich müsste diese Beimengung wenigstens ebenso schwer flüchtig wie die Kohle sein.

Die Leitungsfähigkeit für Wärme steht mit der für Elektricität in enger Beziehung. Früher hat man auf gutleitende Kohlenstäbe viel Gewicht gelegt und dieselben zur Erreichung dieses Zweckes verkupfert. Der Spannungsverlust in den Kohlen ist aber so gering, dass man ihn in der Praxis ganz vernachlässigen kann. Dagegen sind die übrigen schätzenswerthen Eigenschaften der Kohlen, als Härte, Dichtigkeit und Reinheit, gewöhnlich auch mit guter Leitungsfähigkeit verbunden. Für sich allein genommen müsste man ge-

ringe Wärmeleitungsfähigkeit von den Kohlen fordern und der Einfluss dieser Eigenschaft ist auch nicht etwa als gering anzusehen, da die Energie, welche von den Flächen der Kohlenstifte als dunkle Wärme ausgestrahlt oder an die Luft abgegeben wird, auf jeden Fall einigemale so gross ist als diejenige, welche von den weiss

Fig. 118.

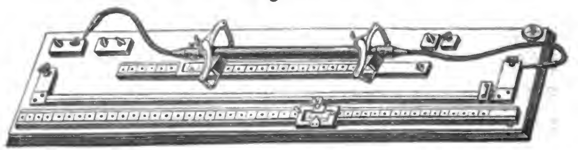
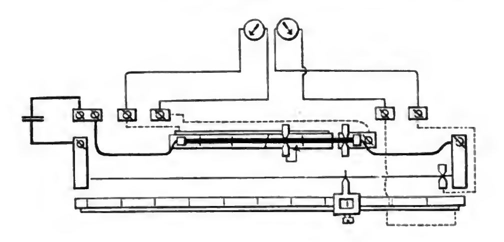


Fig. 119.



glühenden Spitzen ausgestrahlt wird. Inwieweit sich die Wärmeleitungsfähigkeit von den übrigen guten Eigenschaften der Kohle trennen lässt, könnte erst durch eine besondere Untersuchung in Erfahrung gebracht werden.

Da Fehler in der Herstellung der Kohlen an abweichenden Leitungswiderständen derselben leicht erkannt werden, so bildet die Widerstandsmessung der

Kohlen eine sehr werthvolle Controle für den Fabrikanten. Es ist auch aus diesem Grunde empfehlenswerth, systematische Messungen vorzunehmen. Obwohl nun derartige Messungen keine besonderen Schwierigkeiten verursachen, werden selbe doch erleichtert und vereinfacht, wenn man sich hierbei speciell für diesen Zweck construirter Messvorrichtungen bedient, wie eine solche z. B. von Hartmann & Braun zusammengestellt wurde.

Bei diesem in Fig. 118 in perspectivischer Ansicht dargestellten Apparate wird der zu messende Kohlenstab in zwei an leicht biegsamen Kabeln befindlichen Klemmen befestigt und zwischen zwei federnde Contacte gesteckt; einer derselben steht fest, der andere kann verschoben werden. Nachdem der Stab so eingeklemmt ist, wird die Batterie zeitweilig geschlossen und der eine bewegliche Contact des Normaldrahtes so lange verschoben, bis das Galvanometer bei Stromschluss in Ruhe bleibt. Die Scala gibt dann den Widerstand in Ohm direct an. Um die Messung möglichst rasch ausführen zu können, verwendet man ein stark gedämpftes Galvanometer. Die Schaltung des Apparates ist aus der schematischen Fig. 119 zu ersehen.*)

Nachstehend sind die Widerstände der Kohlen von Carré in Paris und der Firma Gebrüder Siemens & Co. in Charlottenburg für verschiedene Kohlenstäbe angegeben.**)

*) Centralblatt f. El., X (1888), S. 606.

**) F. Uppenborn: Kalender für Elektrotechniker. VII. Jahrg. (1890), S. 95.

Kohlenstäbe von Carré.

Durchmesser in *mm*	Widerstand per *m* in *O*	Durchmesser in *mm*	Widerstand per *m* in *O*
1	50	8	0·781
2	12·5	10	0·500
3	5·55	12	0·348
4	3·125	15	0·222
5	2·000	18	0·154
6	1·320	20	0·125

Kohlenstäbe der Gebrüder Siemens & Co.

Durchmesser in *mm*	Länge in *m*	Widerstandscoefficient Dochtkohle	Widerstandscoefficient Homogenkohle
10	0·230	96·303	
	0·135		94·155
10	0·304	80·302	
	0·174		87·022
11	0·250	90·096	
	0·204		87·693
14	0 230	97·193	
	0·135		128·838
8	0·235	102·593	
	0·162		87·875

Diese Angaben beziehen sich auf Messungen von Kohlen im kalten Zustande, d. h. also bei gewöhnlicher Temperatur (etwa 16° C). Mit der Zunahme der Temperatur nimmt der Widerstand ab. Die hier herrschenden Verhältnisse wurden von Lucas*) für Kohlen von Carré näher untersucht.

*) La lumière él., XII (1884), p. 113.

Alphabetisches Sach-Register.

Namen-Register.

Inhalts-Uebersicht

des Ergänzungsbandes vorliegenden Werkes unter dem Titel:

Die

elektrischen Beleuchtungs-Anlagen

mit besonderer

Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung.

Dargestellt von

Dr. Alfred von Urbanitzky.

Zweite Auflage.

Mit 62 Abbildungen. — 16 Bogen. Octav. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.
Eleg. gebdn. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

I. Die Motoren.

Allgemeines über Motoren. — Regulatoren. — Anzahl der Motoren etc. etc.

II. Die Lichtmaschinen.

Allgemeine Anforderungen. — Innerer Widerstand. — Zahl und Grösse der Lichtmaschinen. — Verbindung mehrerer Maschinen in einen Stromkreis. — Versuche von Burstyn, Gramme u. s. w.

III. Die Stromregulatoren.

Stromregulatoren von Maxim, Lane-Fox, Swan, Edison, Siemens u. s. w.

IV. Die Leitungen.

Allgemeine Anforderungen. — Material. — Dimensionen. — Berechnung der Leitungen. — Isolirung und Führung. — Vorsichtsmassregeln.

V. Mess- und Registrirapparate für den Stromverbrauch.

Apparate von Swan, Edison. — Apparate für Centralen. — Uppenborn's und Baumann's Methoden.

VI. Specielle Leitungen und Schaltungsweisen.

Nebenlampen. — Kerzen-Automaten. — Schaltungen von Reynier, Gülcher, Brockie, Edison u. s. w.

VII. Die Lampen.

Aufhängehöhe. — Vertheilung. — Kohlenstäbe. — Glasbedeckung. — Beleuchtungskörper. — Vorsichtsmassregeln.

VIII. Messung der Lichtstärke.

Lichteinheiten. — Richtung der Lichtstrahlen. — Photometer und photometrische Methoden.

IX. Das elektrische Licht und die Gasbeleuchtung.

Vergleichung beider Beleuchtungsarten in Bezug auf ihre Vor- und Nachtheile. — Vergleichung der verschiedenen elektrischen Beleuchtungsmethoden unter einander.

X. Praktische Anwendungen und Kosten der elektrischen Beleuchtung.

1. **Das elektrische Licht im Eisenbahndienste.**
Bahnhofbeleuchtung. — Locomotivlampe. — Waggonbeleuchtung. — Fahrbarer Beleuchtungsapparat.

2. **Anwendungen des elektrischen Lichtes im Seewesen.**
Leuchtthurm. — Hafenbeleuchtung. — Docksbeleuchtung. — Elektr. Licht auf Schiffen. — Elektr. Licht bei submarinen Bauten.

3. **Das elektrische Licht im Dienste des Berg- und Tunnelbaues.**
Kosten u. Vortheile des elektr. Lichtes bei Berg- und Tunnelbauten. — Grubenbeleuchtung.

4. **Die elektrische Beleuchtung in Theatern.**
Stadt-Theater in Brünn. — Savoy-Theater in London.

5. **Centralstation für elektrische Beleuchtung in New-York.**
Gebäude. — Dampfdynamos. — Regulatoren. — Strassenleitungen.

6. **Die Strassenbeleuchtung in Nürnberg.**
7. **Die elektrische Beleuchtung des Telegraphenbureaus in Brüssel.**
8. **Die elektrische Beleuchtung in Werkstätten und Fabriken.**
9. **Das Schmelzen schwerflüssiger Stoffe durch den Voltabogen.**
10. **Die Kosten der elektrischen Beleuchtung.**
Kosten bei verschiedenen Anlagen. — Vergleich der Kosten des elektrischen Lichtes mit den Kosten für andere Beleuchtungsarten.

Anhang. Kraftbedarf für elektrische Beleuchtungsanlagen.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.



